



ปีการศึกษา 2540

การคำนวณค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิล  
CALCULATIONS OF AMPACITY FOR CABLES



โดย  
นายนิธิวัฏ จารุวาที  
นางสาวธิดา วรรณสุริยวงศ์  
นางสาวมยุรา วัฒนานนท์  
นางสาววารินทร์ วงศ์ตรีรัตนชัย

วัน เดือน ปี.....-5.คค.2541.....  
เลขทะเบียน...038466.....  
เลขเรียกหนังสือ...T.50008.....

อาจารย์ที่ปรึกษา  
รองศาสตราจารย์ศุติ บรรจงจิตร  
อาจารย์ชาย ชมภูอินใจ

ปริญญาโทปีการศึกษา 2540


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

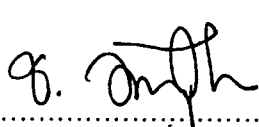
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การคำนวณค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิล

ผู้จัดทำ

- |                  |                |
|------------------|----------------|
| 1. นายนิธิวิภู   | จารุวาทิ       |
| 2. นางสาวธิดา    | วรรณสุริยวงศ์  |
| 3. นางสาวมยุรา   | วัฒนานนท์      |
| 4. นางสาววรินทร์ | วงศ์ตรีรัตนชัย |

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ศุติ บรรจงจิตร)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ชาย ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การคำนวณค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิล

นายนิธิวัฏ จารุวาที  
 นางสาวธิดา วรรณสุริยวงศ์  
 นางสาวมยุรา วัฒนานนท์  
 นางสาววารินทร์ วงศ์ตรีรัตนชัย  
 รศ.ศุติ บรรจงจิตร อาจารย์ที่ปรึกษา  
 อ. ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา  
 ปีการศึกษา 2540

### บทคัดย่อ

โครงการงานนี้เป็นการพัฒนานำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาคำนวณหาค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิล โดยจะอ้างอิงทฤษฎีของ J.H Neher และ M.H.McGrath เป็นหลักในการคำนวณ ในที่นี้จะแบ่งระดับแรงดันออกเป็น 2 ระดับ คือ ที่ระดับแรงดันต่ำและระดับแรงดันปานกลาง โดยจะพิจารณาสาย THW , NYY , และ XLPE เป็นหลัก โดยวางรูปแบบการติดตั้งออกเป็น 5 แบบใหญ่ ๆ คือ เดินลอยในอากาศ , เดินร้อยท่อในอากาศ , เดินร้อยท่อฝังดิน , เดินใน Duct bank และเดินใน Cable tray ซึ่งในการคำนวณจะมีการพิจารณาถึงค่าแฟคเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อพิกัดกระแสของสายเคเบิล เช่น ระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น , ค่าการสูญเสียในสายเคเบิล เป็นต้น สุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้กับมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง

## CALCULATIONS OF AMPACITY FOR CABLES

Nitiwat Charuwathee

Tida Wanasuriyawong

Mayura Watananont

Varin Wongtreerattanachai

Assc.Prof. Suree Bunjongjit Advisor

Lecture Chai Chompoonvai Advisor

1997

### ABSTRACT

This project concentrated on calculations of ampacity for cables which are THW, NYY and XLPE cables in low voltage. The calculations refer to J.H. NEHER and M.H. McGrath Theory. The calculation calculated according to installation and environment (such as heat, dielectric loss etc.) cables of Metropolitan Electricity Authority (MEA.) To bring the result calculation compare with Metropolitan Electricity Authority. Eventually, development of method calculation is used by software computer.

III

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสายเคเบิล	2
2.1 ส่วนประกอบหลักของสายเคเบิล	2
2.2 คำนวณ	4
2.3 ฉนวน	5
2.4 Cable Shielding	8
2.5 Jacketing , Sheating , Amoring	9
2.6 ตัวอย่างสายเคเบิลที่ใช้ในระดับแรงดันสูงและระดับแรงดันต่ำ	9
2.7 การพิจารณาเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสม	12
บทที่ 3 การติดตั้งสายเคเบิล	13
3.1 การติดตั้งสายเคเบิลในที่แจ้ง	13
3.2 การติดตั้งสายเคเบิลโดยการร้อยท่อสายไฟ	13
3.3 การเดินสายบนรางเดินสาย	15
3.4 การเดินสายเคเบิลใต้ดิน	17
บทที่ 4 Neher McGrath Calculations for Insulated Cable	20
4.1 ความหมายของสัญลักษณ์	20
4.2 หลักการคำนวณตามทฤษฎีของ J.H.Neher และ M.H. Grath	22
4.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิลที่ระดับแรงดันต่ำ	29
4.4 ตัวอย่างการคำนวณที่ระดับแรงดันปานกลาง	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณหาค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิล	58
5.1 การใช้งานโปรแกรม	58
5.2 การป้อนข้อมูลในการคำนวณ	62
5.3 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานของโครงการ	62
5.4 ผลการคำนวณหาค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิล	67
5.5 บทสรุปและวิจารณ์	70

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของสายเคเบิลแรงดันต่ำ	3
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของสายเคเบิลแรงดันปานกลาง	3
รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของสายเคเบิลแรงดันสูง XLPE	10
รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของสายแรงดันต่ำ THW	11
รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของสายแรงดันต่ำ NYY	11
รูปที่ 3.1 การเดินสายเคเบิลในที่แจ้ง ( เดินสายเปิดหรือเดินลอย )	13
รูปที่ 3.2 แสดงการต่อท่อ EMT	14
รูปที่ 3.3 แสดงการต่อท่อ RMC	15
รูปที่ 3.4 รางเคเบิลแบบบันได	16
รูปที่ 3.5 รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ	16
รูปที่ 3.6 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ	16
รูปที่ 3.7 รางเคเบิล	17
รูปที่ 3.8 ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน	19
รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการฝังท่อใต้ดิน	39
รูปที่ 4.2 แสดงรูป Duct Bank ขนาด 2*2	48
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าของ $G_0$ ที่ใช้ในการคำนวณใน Duct Bank	50
รูปที่ 4.4 แสดงมิติต่าง ๆ ของ Duct Bank	53
รูปที่ 5.1 หน้าจอแรกแสดงคำแนะนำในการใช้งานโปรแกรม	58
รูปที่ 5.2 แสดงหน้าจอที่ไว้ป้อนค่าก่อนการคำนวณ	59
รูปที่ 5.3 หน้าจอแสดงผลการคำนวณ	60
รูปที่ 5.4 หน้าจอแสดงข้อมูลเพิ่มเติม	61
รูปที่ 5.5 แสดงขอบเขตของโครงการที่ศึกษา	63
รูปที่ 5.6 แสดง Input ที่จำเป็นต้องให้ผู้ใช้ป้อนเมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรม	64
รูปที่ 5.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ระดับแรงดันปานกลาง	65
รูปที่ 5.8 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ระดับแรงดันต่ำ	66

รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสและอุณหภูมิสถานะแวดล้อมที่การ ติดตั้งต่าง ๆ	71
รูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสและอุณหภูมิสถานะแวดล้อมที่ สายชนิดต่าง ๆ	71



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าความนำของ โลหะชนิดต่าง ๆ	4
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงกับอลูมิเนียม	5
ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิขณะทำงานของ cable dielectric ชนิดต่าง ๆ	7
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของ cable dielectric ชนิดต่าง ๆ	7
ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนท่อที่ติดตั้งตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง	52



## บทที่ 1

### บทนำ

ในการออกแบบระบบกำลังไฟฟ้า นับเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งที่จะมีผลต่อเสถียรภาพของระบบ เพื่อให้ระบบมีความปลอดภัยและสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงนับเป็นสิ่งจำเป็นที่ผู้ออกแบบจะต้องมีความพิถีพิถันต่องานออกแบบ และสิ่งหนึ่งที่นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาก็คือ ค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิล

เมื่อพิจารณาถึงค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิล จะเห็นว่า มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากมาย เช่น ค่าอุณหภูมิแวดล้อม ชนิดของตัวนำ รูปแบบการติดตั้ง หรือแม้กระทั่งชนิดของสายที่นำมาติดตั้ง ฯลฯ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรเหล่านี้ ค่าพิกัดของกระแสในสายเคเบิลก็จะมีการเปลี่ยนแปลงด้วย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาถึงผลที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากตัวแปรต่าง ๆ โดยทั้งหมดนี้ได้อธิบายอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ตามทฤษฎีของ J.H. Neher และ M.H. McGrath ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละตัวไว้อย่างชัดเจน

เนื่องจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิลนั้นมีอยู่หลายตัวด้วยกัน จึงค่อนข้างจะยุ่งยากหากต้องคำนวณค่าต่าง ๆ ด้วยมือ ส่งผลเสียทั้งด้านเสียเวลา ความแม่นยำในการคำนวณ และอื่น ๆ จึงได้มีการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่จะอำนวยความสะดวกในการคำนวณ โดยอ้างอิงจากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ตามทฤษฎีดังกล่าวมาแล้ว

## บทที่ 2

### ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสายเคเบิล

สายไฟฟ้ามีหน้าที่สำหรับนำพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ในปัจจุบันได้มีผู้ผลิตสายไฟฟ้าขึ้นมากมายหลายชนิด ตามความต้องการสำหรับการติดตั้งในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสายชนิดหนึ่ง ๆ อาจจะเหมาะกับลักษณะการติดตั้งแบบหนึ่ง ๆ โดยเฉพาะหรือใช้ได้ทั่วไป ทั้งนี้ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงสร้างส่วนประกอบของสายไฟชนิดนั้น ๆ เป็นสำคัญ ดังนั้นการเลือกใช้สายไฟฟ้าเพื่อให้มีความเหมาะสม ปลอดภัย ประหยัดและเชื่อถือได้ จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายประการด้วยกัน ได้แก่ ความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง ความสามารถในการนำกระแสของตัวนำ ขนาดแรงดันตกที่เกิดขึ้น ความสามารถในการทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งในขณะใช้งานปกติและขณะเกิดการลัดวงจร

ในบทนี้จะกล่าวถึง โครงสร้างส่วนประกอบของสายในระดับแรงดันต่ำและแรงดันปานกลาง รวมถึงคุณสมบัติและหน้าที่ของส่วนประกอบเหล่านั้นไว้เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาค้นคว้าสำหรับผู้สนใจต่อไป

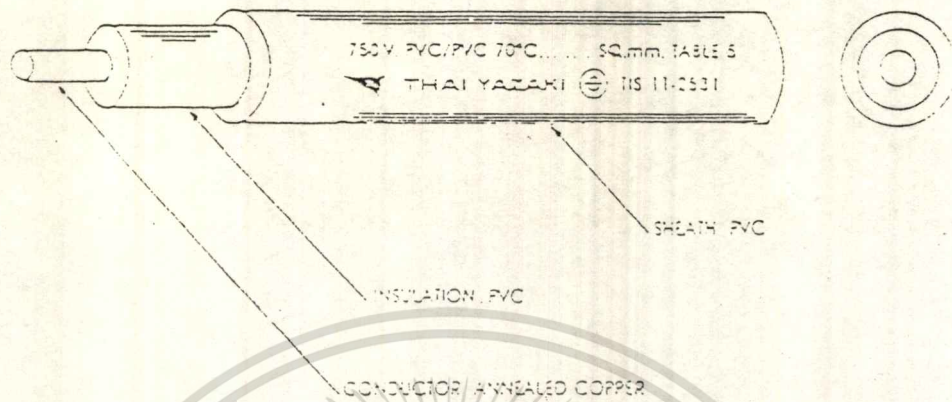
#### 2.1 ส่วนประกอบหลักของสายเคเบิล

โดยทั่วไป สายเคเบิลจะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

1. ตัวนำ (conductor) ทำมาจากวัสดุที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี
2. ฉนวน (insulation) มีมากมายหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ดีในการป้องกันกระแสรั่วไหล
3. Shield ใช้เพื่อป้องกันการรบกวนของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก และคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในสายตัวนำเอง เมื่อมีค่ากระแสสูงๆ ไหลผ่าน ดังนั้นถ้ามีกระแสน้อย เช่น ในสายระดับแรงดันต่ำ อาจจะไม่จำเป็นต้องมี Shield ก็ได้ เพราะมีผลจากคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไม่มากนัก และยังทำให้ประหยัดได้อีกด้วย
4. Jacketing , Sheating และ Armoring ทั้งสามชนิดนี้มีความใกล้เคียงกันมาก มีไว้เพื่อป้องกันสายจากสภาพการณ์ภายนอกต่างๆ เช่น ด้าน mechanical , thermal และ chemical

ตัวอย่าง โครงสร้างส่วนประกอบของสายในระดับแรงดันต่ำและแรงดันปานกลาง แสดงดังรูปที่

2.1 และ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของสายเคเบิลแรงดันต่ำ



REFERENCES

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| 1. Conductor   | 5. Circuit Identification Tape |
| 2. Extruded Conductor Shield                           | 6. Copper Shield Tape          |
| 3. XLPE Insulation                                     | 7. Fillers                     |
| 4. Extruded Insulation Shield<br>(Free Stripping Type) | 8. Binding Tape                |
|  | 9. PVC Jacket                  |

รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของสายเคเบิลแรงดันปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ตัวนำ ( Conductors )

ตัวนำมีหน้าที่เป็นสื่อกลางเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโดยสะดวกที่สุด ดังนั้นตัวนำจึงต้องทำมาจากวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำที่ดี ( high conductivity ) ซึ่งโลหะที่สามารถนำมาใช้ได้มีหลายชนิด แต่ปัจจุบันที่ได้รับความนิยมมี 2 ชนิดคือ

**ทองแดง** เป็นโลหะที่มีการนำไฟฟ้าดีกว่าอลูมิเนียม ดังนั้นกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับอลูมิเนียมจะมีค่าน้อยกว่า มีความแข็งแรง เหนียวทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่มีข้อเสียอยู่คือ เป็นโลหะที่มีน้ำหนักมากและมีราคาสูง จึงไม่เหมาะสำหรับงานด้านแรงดันสูง แต่จะเหมาะกับการใช้งานทั่วไป โดยเฉพาะงานในอาคาร

**อลูมิเนียม** เมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ค่าความต้านทานเท่ากันแล้ว ตัวนำที่ทำจากอลูมิเนียมจะมีน้ำหนักเบาและถูกกว่า จึงเหมาะกับการใช้ในงานเดินสายไฟนอกอาคารและแรงดันสูง ขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวนำที่ทำจากอลูมิเนียมจะมีขนาดใหญ่กว่าตัวนำที่ทำจากทองแดงมาก ซึ่งผลดีที่เห็นได้ชัดคือ จะทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้า ( Electric field intensity ) รอบผิวตัวนำจะลดน้อยลงที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าเดียวกัน ดังนั้นจึงลดผลจากการเกิดโคโรนา ซึ่งเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของระบบ และยังก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนในระบบสื่อสารโทรคมนาคมอีกด้วย อลูมิเนียมถ้าทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดออกไซด์ของอลูมิเนียม ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนฟิล์มบาง ๆ เกาะตามผิวช่วยป้องกันการสึกกร่อนแต่จะมีข้อเสียคือ ทำให้การเชื่อมต่อทำได้ยาก

ตารางที่ 2.1 และ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความนำของโลหะชนิดต่าง ๆ และแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงกับอลูมิเนียม ตามลำดับ

Metal	Relative electrical conductivity ( Copper = 100 )
Silver	106.3
Copper	100.0
Gold	73.8
Aluminium	61.7
Sodium	35.4
Zinc	29.0
Iron	17.2
Tin	15.0
Lead	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น 7.9 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าความนำของโลหะชนิดต่าง ๆ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติเชิงเปรียบเทียบ	ทองแดง	อลูมิเนียม
อัตราส่วนความนำไฟฟ้า ( พื้นที่หน้าตัดเท่ากัน )	1.0	0.60
อัตราส่วนพื้นที่หน้าตัด ( ความต้านทานเท่ากัน )	1.0	1.66
อัตราส่วนเส้นผ่าศูนย์กลาง ( ความต้านทานเท่ากัน )	1.0	1.29
อัตราส่วนน้ำหนัก ( พื้นที่หน้าตัดเท่ากัน )	1.0	0.30
อัตราส่วนน้ำหนัก ( ความต้านทานเท่ากัน )	1.0	0.60

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของทองแดงกับอลูมิเนียม

### 2.3 ฉนวน ( Insulations )

ฉนวนมีหน้าที่หลักคือ ป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่ว ( leakage current ) โดยฉนวนที่ดีควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า ( dielectric strength ) สูง
2. มีค่าความต้านทานจำเพาะ ( insulation resistance ) สูง
3. มีค่าความต้านทานความร้อน ( thermal resistivity ) ต่ำ
4. มีค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (  $\epsilon_r$  ) ต่ำ
5. มีค่าคงตัวประกอบการสูญเสีย (  $\tan \delta$  ) ต่ำ

ฉนวนทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อเป็นการป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวนำ หรือระหว่างตัวนำกับพื้นดินและเพื่อป้องกันตัวนำจากผลกระทบทางกลและทางเคมีต่าง ๆ ในระหว่างที่ตัวนำนำกระแสไฟฟ้าจะเกิดพลังงานสูญเสียในรูปของความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ความสามารถในการทำต่อความร้อนของฉนวน จะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการทนต่อความร้อนของสายไฟนั่นเอง การเลือกใช้ชนิดของฉนวนจะขึ้นกับอุณหภูมิใช้งาน รัศมีแรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวนมากที่สุดในขณะนี้คือ Polyvinyl Chloride ( PVC ) และ Cross Linked Polyethylene ( XLPE )

ฉนวนที่ใช้ในสายเคเบิล แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. ของแข็ง ได้แก่ สารโพลีเมอร์ชนิดต่างๆ
2. ของเหลว ได้แก่ oil base มีลักษณะเช่นเดียวกันกับน้ำมันของหม้อแปลง
3. ก๊าซ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน (  $N_2$  ) ,  $SF_6$  เป็นต้น

2.3.1 ฉนวนที่เป็นของแข็ง ( ในที่นี้คือ สารโพลีเมอร์ ) โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ พลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
( plastic ) และอีลาสโตเมอร์ ( elastomers ) หรือ ยาง ( rubber )  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติก แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. Thermo plastic หมายถึง พลาสติกที่สามารถหลอมเหลวได้ด้วยความร้อน เมื่อเย็นจะแข็งตัวและสามารถนำกลับมาหลอมเหลวใช้ใหม่ได้อีกได้แก่ polyvinyl chloride (PVC), polyethylene (PE)

1.1 polyvinyl chloride (PVC) เป็นวัสดุที่ได้มาจากการสังเคราะห์ vinyl acetate และกลุ่ม copolymer ของ polyvinyl chloride มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีความทนทานต่อความชื้น, ความเย็น, ความร้อน, เปลวไฟ, สารละลาย, น้ำมัน, สารเคมี, ก๊าซไอโซน เหมาะสำหรับระบบส่งจ่ายด้วยระดับแรงดันต่ำ (น้อยกว่า 1 kV) และแรงดันไฟฟ้าระดับปานกลาง ทนอุณหภูมิได้สูงถึง 150 องศาเซลเซียส ลักษณะงานที่เหมาะสมที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น สายไฟสำหรับไฟแสงสว่าง, สายที่ใช้ในงานควบคุม

1.2 polyethylene (PE) เป็นสารสังเคราะห์ที่ได้จากขบวนการผลิตแบบ polymerization โดยมี ethylene เป็น monomer ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ ชนิด LDPE (low density polyethylene) และ HDPE (high density polyethylene) polyethylene มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ มีค่าคงตัวประกอบการสูญเสีย ( $\tan \delta$ ) ต่ำ, ค่าคงตัวไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ ( $\epsilon_r$ ) ต่ำ ขณะที่ค่าความนำความร้อน (thermal conductivity) มีค่าสูงมาก นอกจากนี้ยังมีความทนทานต่อความชื้น, การขูดขีด, แสงแดด, สารเคมี, เปลวไฟ และมีความยืดหยุ่นสูง สามารถโค้งงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำๆ อุณหภูมิปกติที่เราใช้งานคือ 70 - 80 องศาเซลเซียส ลักษณะงานที่นำไปใช้มีหลายประเภท เช่น ใช้เป็นฉนวนในสายโทรศัพท์, สายสัญญาณ, สายควบคุม, สายเคเบิลที่ระดับแรงดันต่ำ ถึงระดับแรงดันปานกลาง (ปัจจุบันมีขีดจำกัดการใช้งานอยู่ที่ระดับ 5 kV)

2. Thermosetting plastics เป็นพลาสติกที่ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีก จึงไม่สามารถนำกลับมาหลอมใช้ใหม่ได้ มีข้อดีคือ ทนความร้อนสูงๆ ได้, มีความอยู่ตัวสูงไม่เสียรูป, มีรูปร่างแน่นอน, น้ำหนักเบา, เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี สารที่นิยมนำมาใช้เป็นฉนวนของสายเคเบิลได้แก่ cross-link polyethylene (XLPE) และ ethylene propylene rubber (EPR)

2.1 cross-link polyethylene (XLPE) เป็นเทอร์โมเซตชนิดหนึ่ง มีขบวนการผลิต 2 วิธีคือ วิธีแรกเรียกว่า "electron irradiation" โดยจะทำการฉายรังสีที่มี high energy electron beam ไปยัง ethylene วิธีที่สองเรียกว่า "chemical crosslinking process" เป็นการผลิตโดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่าง polyethylene กับ organic peroxide ภายใต้อุณหภูมิสูง เมื่อเติมสารบางอย่างลงไปซึ่งจะทำให้ cross-link polyethylene มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และคุณสมบัติทางไฟฟ้าดีขึ้น ระดับอุณหภูมิที่สภาวะปกติในการทำงานคือ 90 องศาเซลเซียส และในกรณีลัดวงจรสามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 250 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cable dielectric	Max $\theta$ °C continuous operation	Max $\theta$ °C short - circuit operation
impregnated paper	65 - 80	160 - 250
p.v.c.	70	150 - 160
p.e. ( low density )	70	120
p.e. ( high density )	80	160
x.l.p.e.	90	250

ตารางที่ 2.3 อุณหภูมิขณะทำงานของ cable dielectric ชนิดต่าง ๆ

2.2 ethylene propylene rubber ( EPR ) ได้จากการผสมระหว่าง ethylene กับ propylene ซึ่งคล้ายกับวิธีของ XLPE มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น มีความทนทานต่อก๊าซโอโซน , ลักษณะสภาพอากาศแบบต่าง ๆ มีความต้านทานความร้อนต่ำ อีกทั้งมีคุณสมบัติที่ดีในเรื่องความยืดหยุ่น จึงถูกนำไปใช้ในระดับแรงดันปานกลาง ( น้อยกว่า 35 kV ) ส่วนอุณหภูมิทำงานในสภาวะปกติเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส และในกรณีลัดวงจรสามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 250 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับ XLPE

ส่วนคุณสมบัติที่สำคัญของฉนวนพลาสติกทั้ง 4 ชนิดที่กล่าวมา แสดงดังตารางที่ 2.4

Insulation	p.v.c.	p.e.		x.l.p.e	e.p.r.	Impregnated paper
		HDPE	LDPE			
Density ( kg.m <sup>-3</sup> )	1400	900	900	900	1200	1250
Thermal resistivity ( °C m W <sup>-1</sup> )	6.0	3.0	3.5	3.5	5.0	5.0 - 6.0
Relative permittivity ( $\epsilon_r$ )	8.0	2.3	2.3	2.5	3.3	3.5
Tangent of dielectric loss angle , $\tan \delta$	100 $\times 10^{-3}$	4 $\times 10^{-4}$	4 $\times 10^{-4}$	4 $\times 10^{-4}$	4 $\times 10^{-3}$	2 $\times 10^{-3}$

Elastomer หรือ Rubber เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้เมื่อมีแรงกระทำ และจะกลับคืนสภาพเดิมเมื่อปลอดจากแรงที่กระทำ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. ยางธรรมชาติ เมื่อทำให้เกิด cross-linked ขึ้นเป็นโมเลกุล ทำให้ยางแข็งตัวด้วยการเติมกำมะถัน หรือตะกั่วคาร์บอนเนต แล้วให้ความร้อนเรียกว่า vulcanizing rubber

2. ยางสังเคราะห์ เช่น styrene - butadiene rubber ( SBR ) จะมีราคาถูกกว่ายางธรรมชาติ แต่มีข้อเสียคือ คุคน้ำมัน

อย่างไรก็ตามพลาสติกชนิด elastomer หรือ rubber นี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมนักในการนำมาใช้เป็นฉนวนของสายเคเบิล

### 2.3.2 ฉนวนที่เป็นของเหลว

oil base เป็นฉนวนที่รู้จักใช้กันมานานแล้ว มีส่วนผสมพื้นฐานเป็นน้ำมันพืชผสมกับกำมะถัน และยางธรรมชาติ หรือยางสังเคราะห์ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ฉนวนประเภทนี้มีความคงทนต่อก๊าซโอโซน และไม่เกิดการออกซิเดชัน ( oxidation ) มีเสถียรภาพทางไฟฟ้าสูง , มีค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้า ( dielectric strength ) สูงด้วยคุณสมบัติที่ดีเช่นนี้ทำให้สามารถใช้ได้กับระดับแรงดันสูง ๆ และถ้าหากนำไปใช้ประกอบกับฉนวนประเภทอื่น ๆ เช่นกระดาษ ( oil impregnated paper ) จะสามารถใช้ได้กับแรงดันที่สูงเป็นพิเศษได้ ปัจจุบันฉนวนชนิดนี้ได้พัฒนามาไปใช้กับอุปกรณ์ใหญ่ๆ ในระบบ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า , circuit breaker ( CB )

### 2.3.3 ฉนวนที่เป็นก๊าซ

ฉนวนชนิดนี้ถูกนำมาใช้กับระบบส่งใต้ดิน ( underground power lines ) ก๊าซที่นิยมนำมาใช้ได้แก่ ไนโตรเจน (  $N_2$  ) และซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (  $SF_6$  ) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีมากมายเป็นต้นว่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าสูง มีคุณสมบัติในการถ่ายเทความร้อนดี เป็นต้น จึงสามารถใช้ได้กับระดับแรงดันไฟฟ้าสูงเป็นพิเศษ ( extra high voltage )

## 2.4 Cable Shielding

การ shield สายเคเบิล มีวัตถุประสงค์เพื่อจำกัดหรือควบคุมสนามไฟฟ้าของฉนวนหรือตัวนำ โดยจะใช้ตัวกลางที่ต้องมีการต่อลงดินและมีคุณสมบัติเป็นตัวนำที่ดี การ shield โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นเทปโลหะหรือ drainwire โดยมักทำมาจากโลหะทองแดงหรืออลูมิเนียมที่มีคุณสมบัติไม่เป็นสารแม่เหล็ก ( non-magnetic metallic )

การ shield สายเคเบิลจะ shield ทั้งรอบตัวนำ ( conductor shield ) และรอบฉนวน ( insulation shield ) โดยมีหลักพื้นฐานคือ

1. เพื่อรักษาการกระจายของสนามไฟฟ้า ในเนื้อฉนวนให้เป็นรูปการกระจายทางรัศมีที่สม่ำเสมอ ( symmetrical radial stress distribution )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ พงษ์สัน อภิสิทธิ์ รมย์เทตต์แบงส์เนอท์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อปกป้องสารแรงดันเหนียวนำ หรือจำกัดสนามแม่เหล็ก , การแทรกสอดของสนามไฟฟ้าสถิตย์

3. ลดความรุนแรงของอันตรายที่เกิดขึ้นจากการลัดวงจรหรือรั่วลง ground และจำกัดความถี่สูงที่แพร่กระจายออกไป

4. ควบคุมค่าความเครียดสนามไฟฟ้าตามแนวยาว และที่ผิวสัมผัสให้อยู่ในค่าที่ปลอดภัย เพื่อป้องกันการเกิด discharge บนผิวฉนวน

## 2.5 Jacketing , Sheating และ Armoring

Jacketing , Sheating และ Armoring ทำหน้าที่คล้ายๆ กันคือ ป้องกันอันตรายต่างๆ ที่จะเกิดกับสาย ไม่ว่าจะเป็นด้าน mechanical , thermal หรือ chemical

Jacketing โดยทั่วไปทำมาจากพลาสติก ได้แก่ polyvinyl chloride ( PVC ) , polyethylene ( PE ) , nylon , hypalon ( CSPE ) โดย PVC , PE , nylon จะเป็นเทอร์โมพลาสติก ส่วน CSPE จะเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต

Sheating ตะกั่ว คือวัสดุชนิดแรกที่ทำ sheating มีประสิทธิภาพดีมากในการป้องกันความชื้น ตลอดจนความยาวของสายเคเบิล แต่มีข้อเสียคือ มีน้ำหนักมาก ปัจจุบันได้หันมาใช้ลูมิเนียมแทน เพราะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าดีกว่า สามารถทำให้มีความหนาตามที่ต้องการได้ง่าย และยังมีารเชื่อมต่อดี

Armoring ที่เรานิยมใช้มี 3 ชนิดคือ interlocked , flat tape และ round wire ชนิดแรกคือ interlocked มีลักษณะเป็นเทปโลหะบาง ขดเป็นเกลียวคล้ายกับตัว “ S ” ใช้พันรอบ ๆ สายเคเบิล โดยโลหะที่ใช้ทำคือ galvanized และอลูมิเนียม ชนิดที่สองคือ flat tape จะมีลักษณะคล้ายกับชนิดแรกโดยใช้พันทับ ( over lap ) กันไปเรื่อย ๆ รอบสายเคเบิล ชนิดนี้มีความยืดหยุ่นน้อยกว่าชนิดแรก ชนิดที่สาม round wire มีลักษณะคล้ายเอาตัวนำเส้นเดี่ยวเล็กๆ ( wire ) มาจับเรียงกันรอบๆ สายเคเบิลโลหะที่ใช้ทำคือ galvanized steel

## 2.6 ตัวอย่างสายเคเบิลที่ใช้ในระดับแรงดันสูงและระดับแรงดันต่ำ

### 2.6.1 สายไฟแรงสูง

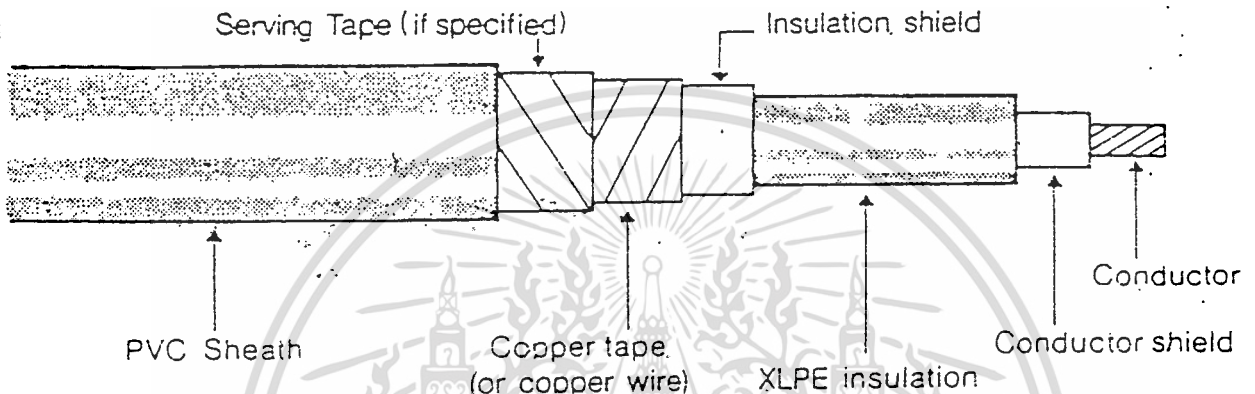
สาย Cross Linked Polyethylene ( XLPE )

สาย XLPE จัดเป็นสาย Fully Insulated โดยมีโครงสร้างและส่วนประกอบดังแสดงในรูป 2.3

- ตัวนำ ( Conductor ) ส่วนใหญ่จะเป็นทองแดงในลักษณะตีเกลียว ( Strand ) ซึ่งอาจจะจัดอยู่ในรูปแบบ ของ Copper Concentric Strand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชีลด์ของตัวนำ ( Conductor Shield ) ทำด้วยสารกึ่งตัวนำ ( Semi - Conducting Material ) มีหน้าที่ช่วย ให้สนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำกับฉนวน กระจายอย่างสม่ำเสมอในแนวรัศมี เป็นการช่วยลด การเกิด Breakdown ได้
- ฉนวน ( Insulation ) เป็นชั้นที่หุ้มห่อชั้นชีลด์ของตัวนำอีกทีหนึ่ง ทำด้วยฉนวน XLPE สายเคเบิลที่ ดี นั้นผิวด้านนอกของชั้นฉนวนจะต้องเรียบ



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของสายแรงดันสูง XLPE

- ชีลด์ของฉนวน ( Insulation shield ) เป็นชั้นของ Semi - conducting Tape พันทับชั้นของฉนวน จาก นั้นจะหุ้มด้วยชั้นของ Copper Tape ชีลด์ของฉนวนจะทำหน้าที่จำกัดสนามไฟฟ้าให้อยู่เฉพาะ ภายใน สายเคเบิล เป็นการป้องกันการรบกวนระบบสื่อสาร นอกจากนี้การต่อชีลด์ลงดินจะช่วยลด อันตราย จากการสัมผัสถูกสายเคเบิลด้วย และทำให้เกิดการกระจายของแรงดันอย่างสม่ำเสมอเวลา ใช้งาน

- เปลือกนอก ( Jacket ) ชั้นของเปลือกนอกนี้อาจจะเป็น Polyvinyl Chloride หรือ Polyethylene ก็ได้ แล้วแต่ว่าลักษณะของงานจะเป็นอย่างไร ถ้าเป็นงานกลางแจ้งก็มักจะใช้ Polyvinyl Chloride เพราะ ก่อนข้างเมื่อเกิดการตีไฟขณะที่ Polyethylene มักใช้งานแบบเดินลอย เนื่องจากความทนทานต่อ สภาพ ดินฟ้าอากาศ ส่วนในกรณีที่วางเคเบิลใต้ดินอาจมีชั้นของ Service tape ซึ่งอาจจะทำด้วยชั้น ผ้า ( Fabric tape ) ชั้นระหว่างชีลด์และเปลือกนอก ช่วยป้องกันการเสียดสีและการกระทบกระแทก สายชนิดนี้สามารถเดินลอยในอากาศ หรือฝังใต้ดินก็ได้ แต่นิยมใช้ฝังใต้ดิน เนื่องจากมีความ แข็งแรงทนทานสามารถทนต่อความชื้นได้ดี

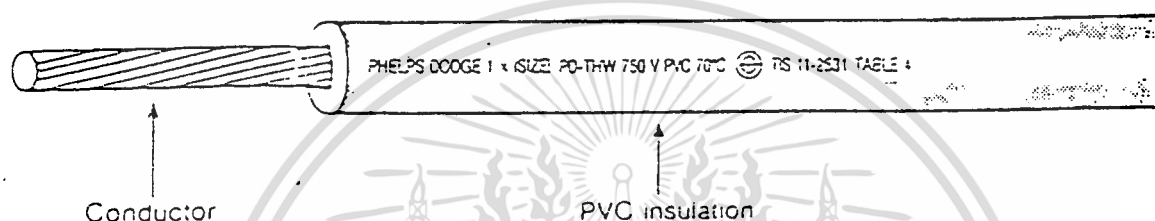
### 2.6.2 สายไฟแรงต่ำ

สายไฟฟ้าแรงต่ำเป็นสายไฟฟ้าที่ใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 750 volt มีลักษณะเป็นสายไฟฟ้าหุ้ม ด้วยฉนวน โดยที่ตัวนำสำหรับสายไฟฟ้าชนิดนี้ อาจจะใช้ทองแดงหรืออลูมิเนียมเป็นตัวนำ แต่ที่ นิยมใช้สำหรับสายไฟฟ้าแรงต่ำจะเป็นสายทองแดง สายไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีลักษณะตัวนำเป็น

ตัวนำดีเกลือ แต่ถ้าเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็ก ตัวนำก็จะเป็นตัวนำเดี่ยว วัสดุฉนวนที่นิยมใช้กับสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ได้แก่ Polvinyl Chloride (PVC) และ Cross Linked Polyethylene (XLPE)

### สาย THW

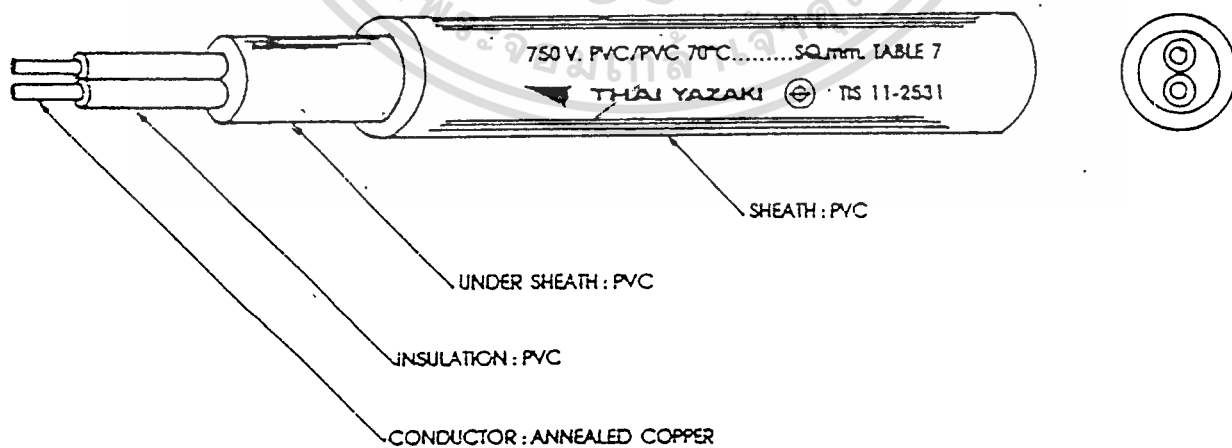
มีอุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นสายกลมเดี่ยวตัวนำเป็นทองแดงหุ้มฉนวน PVC สามารถใช้ได้ทั้งในสถานที่แห้งและสถานที่เปียก โดยทั่วไปนิยมใช้สายชนิดนี้เป็นสายวงจรย่อย สายป้อนและสายเมน ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ ของสายได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงส่วนประกอบของสายแรงดันต่ำ THW

### สาย NYY

เป็นสายที่มีฉนวน 2 ชั้น โดยฉนวน PVC ชั้นในจะทำหน้าที่เป็นฉนวนหุ้มตัวนำเอาไว้ แล้วจะมีฉนวน PVC ชั้นนอกอีกชั้นหนึ่งทำหน้าที่เป็นเปลือก (sheath) ซึ่งสามารถทนความชื้นได้สูง สายชนิดนี้จึงสามารถใช้ฝังดินได้โดยตรง ส่วนประกอบของสายได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของสายแรงดันต่ำ NYY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 การพิจารณาเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสม

ในการพิจารณาเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้นมีหลายเรื่องด้วยกันที่เราต้องพิจารณาซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพความเชื่อถือได้และความปลอดภัยในการเลือกสายไฟฟ้าได้แก่

1. พิกัดแรงดัน ( Voltage Rating )
2. พิกัดกระแส ( Current Rating ) คือ ความสามารถของสายไฟฟ้าในการที่จะนำกระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่งอย่างต่อเนื่องในภาวะการใช้งาน โดยไม่ทำให้อุณหภูมิสุดท้ายมีค่าเกินอุณหภูมิที่กำหนดไว้
3. แรงดันตก ( Voltage drop )
4. สายควบ ( Multiple Conductor )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

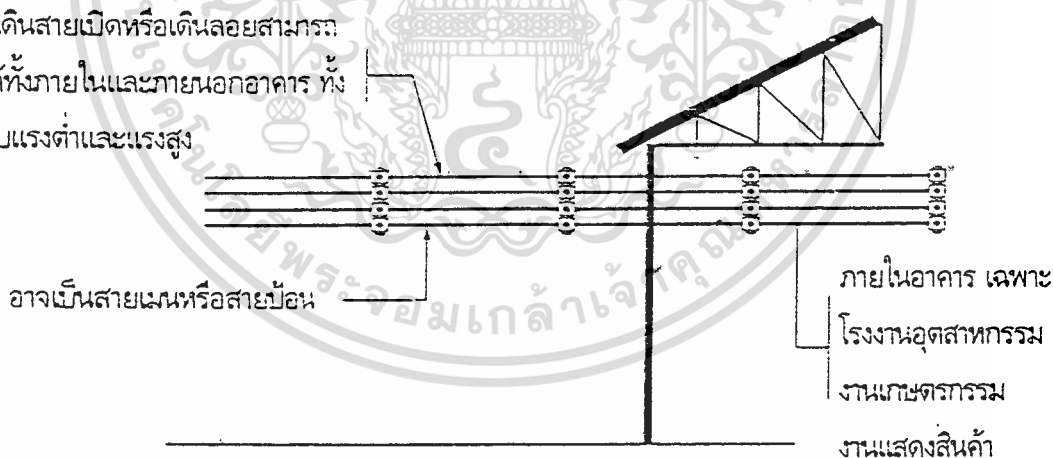
#### การติดตั้งสายเคเบิล

การเดินสายเคเบิลเพื่อไปจ่ายโหลดต่าง ๆ นั้น จะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ จำเป็นจะต้องมีวิธีการเดินสายที่เหมาะสม คือ มีการป้องกันไม่ให้ฉนวนและตัวนำของสายเคเบิลเสียหายจากแรงกระแทกทางกลหรือจากปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ซึ่งรูปแบบการของติดตั้งสายเคเบิลนั้นสามารถจำแนกได้เป็น 4 รูปแบบดังนี้

#### 3.1 การติดตั้งสายเคเบิลในที่แจ้ง

การติดตั้งสายเคเบิลในที่แจ้ง หมายถึง การติดตั้งสายเคเบิลนอกตัวอาคารหรือภายในตัวอาคาร อาจเป็นการติดตั้งพาดบนเสาไฟฟ้า เช่นเดียวกับการติดตั้งสายเปลือย หรือติดตั้งให้ยึดติดกับผนังอาคาร วางบนพื้นหรือติดตั้งบนรางสายเคเบิล เป็นต้น ดังนั้นการติดตั้งสายเคเบิลในที่แจ้งจึงมีอากาศเป็นตัวกลางปกคลุมอยู่รอบนอกสายเคเบิล

การเดินสายเปิดหรือเดินลอยสามารถ  
ใช้ได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ทั้ง  
ระบบแรงต่ำและแรงสูง



รูปที่ 3.1 การเดินเคเบิลสายในที่แจ้ง (เดินสายเปิดหรือเดินลอย)

#### 3.2 การติดตั้งสายเคเบิลโดยการร้อยท่อสายไฟ (duct หรือ conduit)

การติดตั้งสายเคเบิลวิธีนี้จะต้องเลือกขนาดของ duct หรือ conduit โดยการพิจารณาจากหลักการพื้นฐานเปอร์เซ็นต์ในการแก้ปัญหาที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการลากดึงสายเคเบิล ซึ่งทำให้ต้องพิจารณาถึงจำนวนเนื้อตัวนำทั้งหมดที่มีอยู่ในท่อ นอกจากนี้รัศมีของท่อร้อยสายไฟมาตรฐานและความโค้งงอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่แจ้งวิธีและขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่สัญญาใด ๆ ที่ผูกมัดหรือเป็นข้อผูกมัดในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของทางเดินสายก็เป็นสิ่งจำเป็นหรือรัศมีในการโค้งงอด้านในต่ำสุด ก็จะมีผลซึ่งต้องนำมาพิจารณาด้วย โดยท่อที่ใช้จะแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ท่อโลหะและท่อโลหะ ดังนี้

**3.2.1 ท่อโลหะ ( nonmetallic conduit )** ท่อชนิดนี้จะทำมาจากวัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนและการกระแทกได้ ลักษณะของท่อชนิดนี้อาจจะฝังดินหรือเดินลอยในอากาศก็ได้ โดยปกติท่อชนิดนี้จะมีอยู่ด้วยกันดังนี้คือ

1. ไฟเบอร์ ( fiber )
2. ท่อซีเมนต์แอสเบสตอส ( asbestos cement ) มีความแข็งแรง ทนทานต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิมและไม่ติดไฟ โดยมากจะใช้เป็นท่อเดินสายไฟใต้ดิน

3. ท่อพีวีซี ( rigid polyvinyl chloride ( PVC ) )

4. high density polyethylene

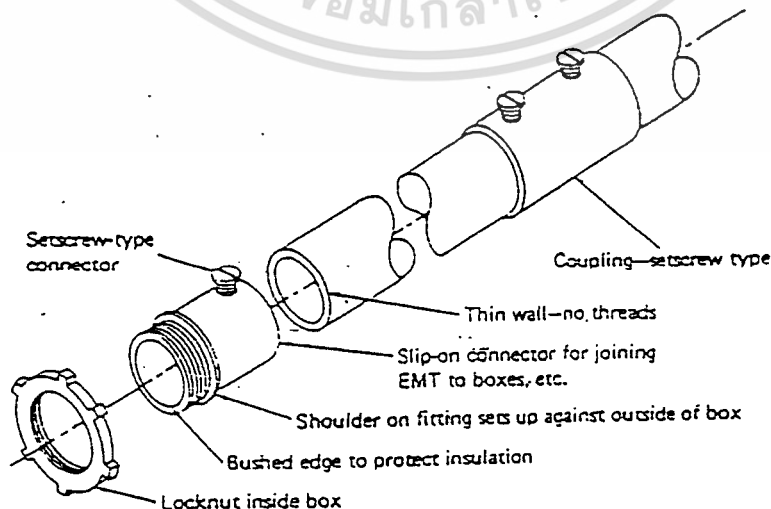
5. rigid polyvinyl ( PV )

ส่วนใหญ่นิยมใช้ท่อ PVC และ fiber เพราะการโค้งงอหรือการหักมุมทำได้ง่าย

**3.2.2 ท่อโลหะ ( metal conduit )** เป็นท่อทำมาจากโลหะผสมบางครั้งจะเคลือบสังกะสีเอาไว้ด้วยเพื่อป้องกันสนิม แบ่งออกเป็น

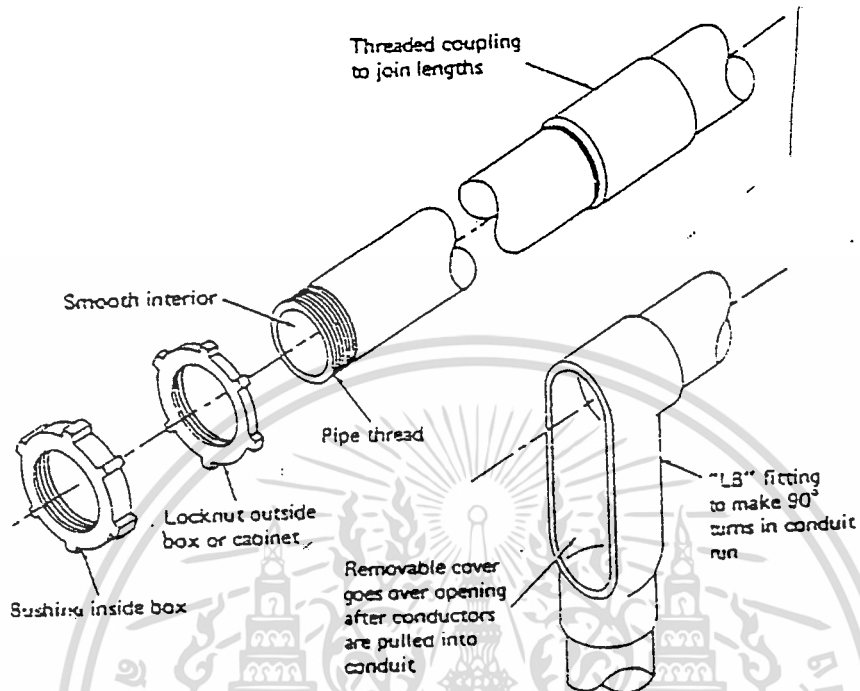
1. ท่อโลหะหนา ( Rigid Metal Conduit )
2. ท่อโลหะหนานปานกลาง ( Intermediate Metal Conduit )
3. ท่อโลหะบาง ( Electrical Metallic Tubing )
4. ท่อโลหะอ่อน ( Flexible Metal Conduit )

สำหรับชนิดที่นิยมใช้กันทั่วไปได้แก่ ชนิดท่อโลหะหนานปานกลาง ( IMC ) และชนิดท่อโลหะบาง ( EMT ) โดยการต่อท่อ EMT และท่อ RMC จะแสดงดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 แสดงการต่อท่อ EMT

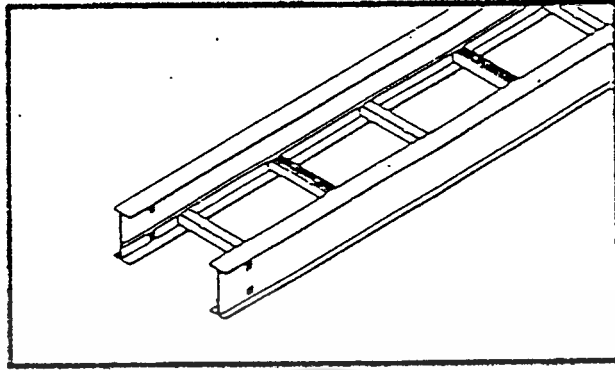
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



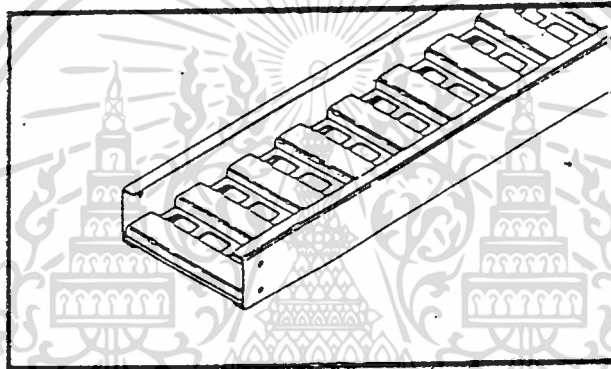
รูปที่ 3.3 แสดงการต่อท่อ RMC

### 3.3 การเดินสายบนรางเดินสาย (race way)

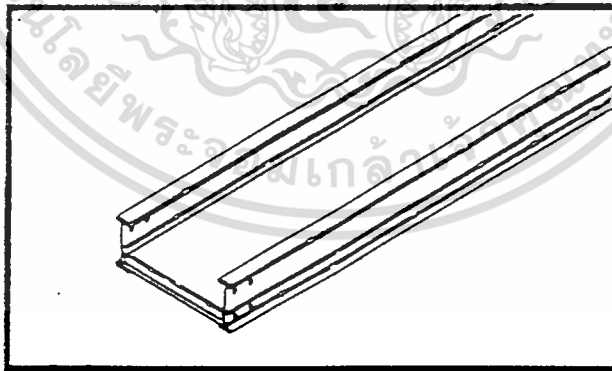
รางเดินสายที่ใช้ อาจจะเป็น cable trays หรือ cable ladders เป็นลักษณะของสิ่งที่รองรับหรือห่อหุ้มสายเคเบิลเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดกับสายเคเบิลดังกล่าว โดย cable trays และ cable ladders ทำมาจากโลหะหรือพลาสติก สามารถแขวนหรือวางก็ได้ ในกรณีที่ทำการติดตั้ง cable trays หรือ cable ladders ถูกต้องแล้วก็สามารถร้อยสายเคเบิลลงไปได้เลย นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้งานได้ทุกสถานที่ ดังนั้นสายเคเบิลที่มีจำนวนมากจะต้องทำการจัดวางให้เหมาะสมตามสถานที่ นอกจากนี้ในกรณีที่มีการโค้งตรงมุมหรือต่อ cable trays จะมีอุปกรณ์ที่ช่วยทำงานในลักษณะดังกล่าว โดยทำเป็นชิ้นสำเร็จรูปขึ้นมา ตัวอย่างของ cable tray ชนิดต่าง ๆ นั้นแสดงดังรูปที่ 3.4 , รูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 รางเคเบิลแบบบันได (Ladder Type)



รูปที่ 3.5 รางเคเบิลแบบมีช่องระบายอากาศ (Channel Type)

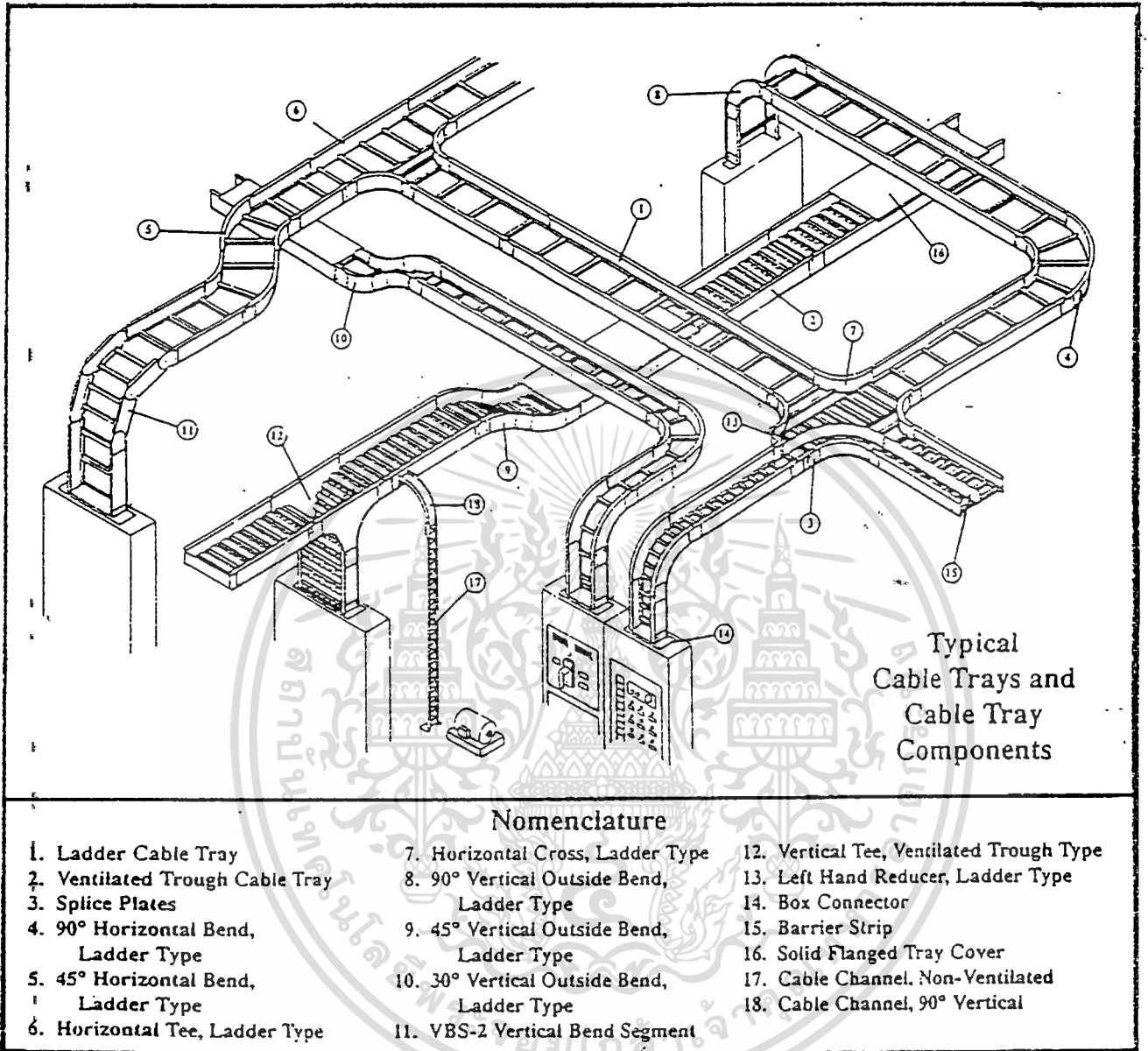


รูปที่ 3.6 รางเคเบิลแบบด้านล่างทึบ (Solid - Bottom Type)

ข้อดีประการหนึ่งของการใช้รางเคเบิลก็คือ สามารถเพิ่ม เคลื่อนย้าย เปลี่ยนแปลงสายไฟฟ้าได้ โดยสะดวก ในการวางสายมักจะเพื่อที่ไว้สำหรับการขยายในอนาคตด้วย รูปที่ 3.7 จะแสดงถึงการติดตั้งรางวางสายชนิดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังแสดงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รางเคเบิล

### 3.4 การเดินสายเคเบิลใต้ดิน ( underground cables )

ในปัจจุบันการเดินสายโดยติดตั้งใต้ดินเป็นที่นิยมมากขึ้น โดยเฉพาะการจ่ายไฟให้กับอาคารขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากการติดตั้งใต้ดินใช้พื้นที่น้อย มีความเชื่อถือได้สูง และมีความสวยงาม โดยสายไฟที่ใช้สำหรับการติดตั้งใต้ดินจะต้องเป็นชนิดมีเปลือก ( Jacket ) มีความแข็งแรง สามารถป้องกันแรงทางกลและกันความชื้นได้ การเดินสายเคเบิลใต้ดินที่นิยมใช้มี 2 วิธีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การเดินสายฝังดินโดยตรง (direct burial) วิธีนี้มีข้อได้เปรียบกว่าการเดินในท่อคือ มีการลงทุนที่ต่ำกว่าและยังสามารถจ่ายกระแสได้มากกว่า เพราะว่าสายสัมผัสกับดินโดยตรงจึงสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า แต่โดยทั่วไปไม่ค่อยนิยมเพราะว่าการบำรุงรักษาเคเบิลทำได้ยากหากเกิดลัดวงจรขึ้น ดังนั้นจะใช้ในบางกรณีเท่านั้น เช่น การเดินสายเคเบิลใต้น้ำ (submarine cable) เป็นต้น

3.4.2 การเดินสายในแผงท่อใต้ดิน (duct bank) การเดินสายด้วยวิธีนี้จะต้องใช้ท่อร้อยสายและบ่อพักสาย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

**ชนิดของท่อร้อยสาย** ท่อร้อยสายในปัจจุบันมีหลายชนิดด้วยกัน คือ

1. ท่อใยหิน (asbestos cement duct) มีคุณสมบัติเปราะและแตกง่าย การก่อสร้างจึงต้องหุ้มด้วยคอนกรีตอีกชั้นหนึ่ง แต่ท่อชนิดนี้มีราคาถูกและระบายความร้อนได้ดีจึงได้รับความนิยมมากที่สุด

2. ท่อเหล็กหนา (rigid steel conduit) เป็นท่ออบสังกะสี ที่มีคุณสมบัติทนต่อแรงกดและแรงกระแทกได้ดี นอกจากนี้ยังระบายความร้อนได้ด้วย แต่มีราคาแพง ถ้าใช้ฝังใต้ดินจะมีอายุการใช้งานสั้นกว่าท่อใยหิน ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นท่อต่อเหนือดินสำหรับทำสายขึ้น (riser) เท่านั้น แต่ท่อเหล็กก็มีข้อเสียคือ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำขึ้นในท่อและมีกระแสเอ็ดดี้ (eddy current) ไหลผ่านทำให้เกิดความร้อนขึ้น

3. ท่อโพลีเอทิลีน (high density polyethylene) เป็นท่อที่มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่ทนต่อแรงกดแรงกระแทกได้จำกัด ดังนั้นจึงเหมาะที่จะใช้เป็นท่อนำสายขึ้น ถ้าใช้เป็นท่อฝังดินจะต้องหุ้มด้วยคอนกรีตก่อน เนื่องจากโพลีเอทิลีนนั้นมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าทำให้ไม่เกิดกระแสเอ็ดดี้ จึงได้รับความนิยมมากต่อท่อเหล็ก

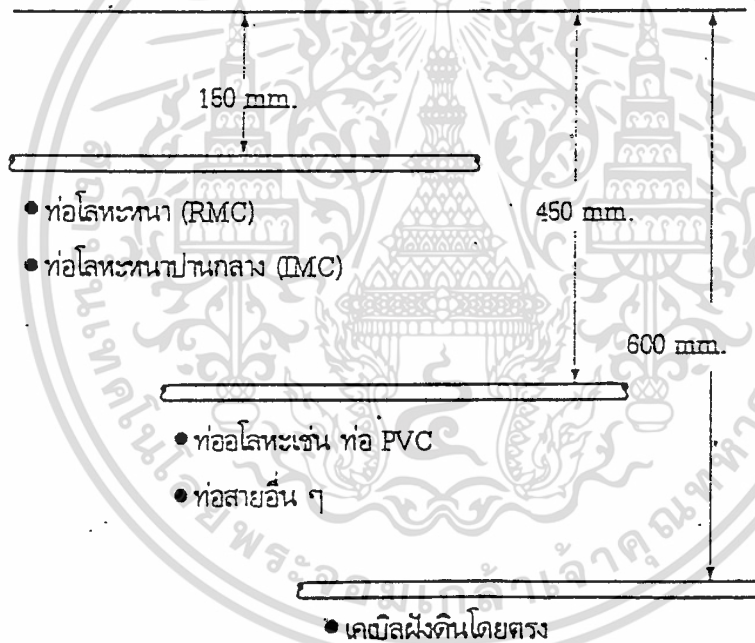
ท่อร้อยสายใต้ดินที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ ท่อใยหิน เพราะมีราคาถูกกว่าชนิดท่ออื่น ๆ และยังสามารถระบายความร้อนได้ดีอีกด้วย การวางท่อร้อยสายจะวางเป็นเส้นตรงโดยเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดและมีอุปสรรคน้อยที่สุดเป็นเส้นทางการติดตั้ง ท่อทุกเส้นจะวางลาดไปยังบ่อพักสาย ความลาดประมาณ 5-10 องศา เพื่อป้องกันน้ำขังในท่อ การติดตั้งปกติจะมีมากกว่า 1 วงจร ดังนั้นจึงมีท่อใต้ดินอยู่เป็นจำนวนมาก เพื่อความเป็นระเบียบและสวยงามจึงนิยมเดินเป็นแผง ปกติแล้วในแผงวางท่อจะมีท่อสำรองเดินเพื่อไว้สำหรับการขยายในอนาคต

4. บ่อพักสาย โดยทั่วไปแล้วบ่อพักสายนั้นจะมีทั้งบ่อขนาดใหญ่ (manhold) และบ่อขนาดเล็ก (handhold) บ่อขนาดใหญ่บางครั้งเรียกว่าอุโมงค์พักสาย อย่างไรก็ตามบ่อทั้งสองชนิดสร้างเพื่อวัตถุประสงค์เดียวกันคือ อำนวยความสะดวกในการลากสายและหัดเลี้ยว บ่อพักสายต่างๆ ไป สร้างด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กมีฝาปิดมิดชิด เนื่องจากอุโมงค์พักสายมีขนาดใหญ่จึงจำเป็นต้องก่อสร้างขึ้นในสถานที่ใช้งานเพราะมีน้ำหนักมาก แต่ถ้าเป็นบ่อขนาดเล็กนิยมหล่อสำเร็จรูปแล้วยกมาวางยังสถานที่ติดตั้งในภายหลัง ที่ก้นบ่อจะมีอ่าง (sump) ซึ่งเป็นที่รวมของน้ำภายในบ่อและจะสูบออก



เมื่อต้องการลงไปปฏิบัติงานในบ่อเท่านั้น ความลึกของบ่อพักสายจะมีอุปกรณ์จับยึดสายติดอยู่เป็น  
แผงและที่กันบ่อจะมีหลักดิน ( ground rod ) ปักอยู่โดยใช้เป็นกราวด์ของระบบ ตามปกติท่อพักสาย  
จะวางห่างกันประมาณ 150 ถึง 240 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้ระยะทางเป็นอุปสรรคในการลากสาย แต่ใน  
พื้นที่บางแห่งที่เป็นจุดหักเหี้ยวก็อาจตั้งบ่อพักสายให้ชัดเจนได้ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการลากสาย

ในการติดตั้งใต้ดินสายเคเบิลหรือท่อสายที่ใช้จะต้องฝังลึกจากพื้น เพื่อป้องกันการทำอันตราย  
ต่อสายเคเบิลหรือท่อสายโดยบังเอิญ เช่น การขุดถนนเพื่อซ่อมแซมต่าง ๆ เพื่อเป็นการป้องกันยิ่งขึ้น  
สามารถใช้แผ่นคอนกรีตปิดทับอีกชั้นหนึ่งได้ โดยระยะความลึกต่ำที่สุดในการฝังดินตามกำหนด  
ของการไฟฟ้านั้นแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน

## บทที่ 4

## Néher - McGrath Calculations for Insulated Cable

ในการคำนวณค่ากระแสที่ภาวะของอุณหภูมิเปลี่ยนไปนั้นจะต้องคำนวณทั้งสภาวะเสถียร และในขณะที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีผลต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน เมื่อมีความร้อนจะส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและทำให้เกิด dielectric loss ขึ้นมา ซึ่งเป็นผลมาจากกระแสนั่นเอง พร้อมทั้งต้องคำนึงถึงการสูญเสียที่มาจาก sheat และ conduit ส่วนในกรณีที่เป็นระบบสายเคเบิลใต้ดิน จะต้องพิจารณาความต้านทานทางความร้อนของดิน และยังคงต้องคำนึงถึงผลของความร้อนที่มาจากสายเคเบิลอื่น ๆ ที่อยู่ในระบบเดียวกันหรือระบบข้างเคียงด้วย

## 4.1 ความหมายของสัญลักษณ์ ( Nomenclature )

ก่อนอื่นจะกล่าวถึงสัญลักษณ์ที่ใช้เพื่อให้สามารถเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น

- d หมายถึง ระยะห่าง หน่วยเป็น นิ้ว
- $D_c$  หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของตัวนำ
- $D_i$  หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของ insulation
- $D_s$  หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของ sheath
- $D_{sm}$  หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเฉลี่ยของ sheath
- $D_s'$  หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของสายเคเบิลที่วางใกล้กันเป็นรูปสามเหลี่ยม
- $D_p$  หมายถึง เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของ duct wall , pipe หรือ conduit
- $\epsilon$  หมายถึง สัมประสิทธิ์ของการแผ่กระจายตามผิว
- $\epsilon_r$  หมายถึง ตามแต่นิคมของความเหนียวนำหรือความจุของ insulation
- f หมายถึง ความถี่ circle per second
- $F(x)$  หมายถึง ค่าที่ได้จากฟังก์ชัน Bessel ของ x
- $G_b$  หมายถึง Geometric factor ที่ได้จาก duct bank
- I หมายถึง ค่ากระแสของตัวนำ มีหน่วยเป็น kiloamperes
- $k_s$  หมายถึง แฟคเตอร์ความถูกต้องของ skin effect
- $k_p$  หมายถึง แฟคเตอร์ความสัมพันธ์ของการส่งผ่านความร้อน
- L หมายถึง ความลึกของการฝังสายเคเบิลนับจากพื้นดิน มีหน่วยเป็นนิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Lb หมายถึง ความลึกจากพื้นดินถึงจุดศูนย์กลางของ duct bank มีหน่วยเป็นนิ้ว
- (LF) หมายถึง Loss factor , per unit
- $n'$  หมายถึง จำนวนตัวนำในหนึ่งสายเคเบิล
- N หมายถึง จำนวนของกลุ่มสายเคเบิลในระบบ
- $\cos \phi$  หมายถึง Power factor ของ insulation
- $q_c$  หมายถึง อัตราส่วนผลรวมของความสูญเสียใน conductor และ sheath ต่อความสูญเสียใน conductor
- $q_e$  หมายถึง อัตราส่วนผลรวมของความสูญเสียใน conductor , sheath และ conduit ต่อความสูญเสียใน conductor
- Rdc หมายถึง ความต้านทานกระแสตรงของตัวนำ
- $R_s$  หมายถึง ความต้านทานกระแสตรงของ sheath หรือใน shield-skid wire
- $R$  หมายถึง ความต้านทานทางอุณหภูมิ ( ต่อความสูญเสียของตัวนำ )
- $R_i$  หมายถึง ของ insulation
- $R_j$  หมายถึง ของ jacket
- $R_{sd}$  หมายถึง ระหว่างผิวของสายเคเบิลกับบริเวณรอบข้าง
- $R_d$  หมายถึง ของ duct wall หรือวัสดุที่ใช้หุ้มสายเคเบิล
- $R_{se}$  หมายถึง ระหว่าง sheath กับเส้นผ่าศูนย์กลาง  $D_e$
- $R_e$  หมายถึง ระหว่าง conduit กับ ambient
- $R_e'$  หมายถึง ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลาง  $D_e$  กับ ambient earth
- $R_{ca}'$  หมายถึง ระหว่าง conductor กับ ambient สำหรับ conductor loss
- $R_{da}'$  หมายถึง ระหว่าง conductor กับ ambient สำหรับ dielectric loss
- $\rho$  หมายถึง ความต้านทานจำเพาะทางไฟฟ้า , circular mil ohms per foot
- $\rho$  หมายถึง ความต้านทานจำเพาะทางความร้อน , degree centigrade centimeter per watt
- S หมายถึง ระยะห่างของสายเคเบิลที่อยู่ติดกันนับจากแกนของสายเคเบิล
- t, T หมายถึง ความหนา มีหน่วยเป็นนิ้ว
- T หมายถึง อุณหภูมิ , degrees centigrade
- Ta หมายถึง อุณหภูมิรอบข้างเป็น air หรือ earth
- Tc หมายถึง อุณหภูมิของตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $T_m$  หมายถึง อุณหภูมิเฉลี่ยของ medium
- $\Delta T_d$  หมายถึง ผลต่างของอุณหภูมิของตัวนำที่เพิ่มขึ้นเนื่องจาก dielectric loss มีหน่วยเป็น degrees centigrade
- $T$  หมายถึง อุณหภูมิที่ความต้านทานศูนย์ , degrees centigrade
- $W_d$  หมายถึง ความสูญเสียใน dielectric
- $X_m$  หมายถึง mutual reactance ของ conductor ถึง sheath หรือ shield , microohms per foot
- $Y_c$  หมายถึง ส่วนที่เพิ่มขึ้นของความสูญเสียใน conductor
- $Y_s$  หมายถึง ส่วนที่เพิ่มขึ้นของความสูญเสียใน sheath หรือ shield
- $Y_p$  หมายถึง ส่วนที่เพิ่มขึ้นของความสูญเสียใน pipe หรือ conduit

#### 4.2 หลักการคำนวณตามทฤษฎีของ J.H Neher และ M.H. Mc Grath

อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงจากตัวนำถึงบริเวณรอบ ๆ ของตัวนำจะเป็นตัวทำให้เกิดการสูญเสียขึ้น ซึ่งสามารถแยกออกเป็นสองส่วนดังนี้

$$T_c - T_a = \Delta T_c + \Delta T_d \quad (4.1)$$

1.  $\Delta T_c$  คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากกระแสค่าเป็น  $I^2R$  ใน conductor sheath หรือ conduit

$$\Delta T_c = \frac{I^2 R_{dc} (1 + Y_c)}{R_{ca}'} \quad (4.2)$$

$R_{ca}'$  คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนระหว่างตัวนำ ( Conductor ) ไปถึงอุณหภูมิสถานะแวดล้อม ( Ambient )

2.  $\Delta T_d$  คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก Dielectric Loss แต่ในระบบแรงดันต่ำจะไม่ค่อยมีผลต่อกระแสมากนัก ทำให้เราสามารถละทิ้งได้ แต่ในระบบแรงสูงมีผลมาก ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\Delta T_d = \frac{W_d}{R_{da}'} \quad (4.3)$$

โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่ละส่วนเกิดจากความร้อน heat flow ไหลผ่านความต้านทานทางความร้อนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจากทฤษฎีนี้เราสามารถคำนวณหาขนาดของกระแสในสายเคเบิลได้ ดังนี้

$$I = \frac{\sqrt{T_c - (T_a + \Delta T_d)}}{\sqrt{R_{dc}(1 + Y_c)R_{ca}'}} \quad \text{kiloamperes} \quad (4.4)$$

### พิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

1. Tc temperature of conductor อุณหภูมิของตัวนำ มาตรฐานการไฟฟ้ากำหนดอุณหภูมิสูงสุดที่ตัวนำต้องทนได้ในการใช้งาน คือ

#### Low Voltage (750 V)

XLPE	90	°C
THW	70	°C
NYY	70	°C

#### High Voltage (24 kV)

XLPE	90	°C
------	----	----

2. Ta temperature of ambient อุณหภูมิสถานะแวดล้อมในการใช้งาน โดยทั่วไปการไฟฟ้านครหลวงกำหนดไว้ดังนี้

#### Low Voltage (750 V)

เดินลอยในอากาศ	40	°C
เดินร้อยท่อในอากาศ	40	°C
เดินร้อยท่อฝังดิน	30	°C
เดินในเคเบิลเทรย์	40	°C

#### High Voltage (24 kV)

เดินร้อยท่อในอากาศ	40	°C
เดินร้อยท่อฝังดิน	30	°C
เดินในเคเบิลเทรย์	40	°C
เดินใน Duct bank	30	°C

$\Delta T_d$  temperature rise of conductor due to dielectric อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของ Dielectric Loss ซึ่งจากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นจะมีผลน้อยมากใน Low Voltage ดังนั้นเราจึงพิจารณาเฉพาะใน High Voltage ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

#### Low Voltage

$$\Delta T_d = 0$$

#### High Voltage

$$\Delta T_d = W_d R_{da} \quad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถหาค่า  $W_d$  ได้ดังสมการ

$$W_d = 0.00276 E^2 \epsilon_r \cos \phi / \log[(2T+D_c) / D_c] \quad (4.6)$$

$$E = KV / \sqrt{3}$$

$$\epsilon_r = 2.5$$

ซึ่งค่า  $\epsilon_r$  สามารถหาได้จากตารางที่ 1 ในภาคผนวก

$$\cos \phi = 0.005$$

$$T = \text{thickness of insulation}$$

$$D_c = \text{diameter of conductor}$$

สามารถหาค่า  $R_{da}'$  ได้ดังสมการ

$$\overline{R_{da}'} = \overline{R_i + R_{sc} + R_c'} \quad (4.7)$$

$$\overline{R_i} = 0.012 \rho_i \log \left( \frac{D_i}{D_c} \right) \quad (4.8)$$

$$\rho_i = \text{thermal resistivity of insulation}$$

ซึ่งสามารถหาค่าได้จากตารางที่ 2 ของภาคผนวก ได้ค่าดังนี้

$$\text{XLPE } 385 \quad ^\circ\text{C Cm / Watt}$$

$$\text{THW } 357 \quad ^\circ\text{C Cm / Watt}$$

$$\text{NYY } 357 \quad ^\circ\text{C Cm / Watt}$$

$$D_i = D_c + 2T \quad (4.9)$$

3.  $R_{dc}$  ค่าความต้านทานกระแสตรง ซึ่งการคำนวณจะอิงจากค่ามาตรฐานที่  $20^\circ\text{C}$  ซึ่งค่าจะแปรตามอุณหภูมิของตัวนำที่เปลี่ยนไป ดังนี้

$$R_{dc} = R_{dc 20^\circ} (304.8) \left[ \frac{234.5 + T_c}{254.5} \right] \quad (4.10)$$

4.  $Y_c$  ค่าความสูญเสียต่างๆ ซึ่งมีผลจาก skin effect ( $Y_{cs}$ ) และที่เกิดจาก proximity effect ( $Y_{cp}$ )

$$Y_c = Y_{cs} + Y_{cp} \quad (4.11)$$

ซึ่งการคิดผลของ skin effect หาได้จาก skin effect function ดังแสดงในตารางที่ 3 ของภาคผนวก

$$Y_{cs} = F(X_s) \quad (4.12)$$

โดย

$$X_s = 0.875 \sqrt{\frac{fk}{s}} \sqrt{R_{dc}} \quad (4.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$\begin{aligned} f &= 50 \\ k_s &= 1.0 \end{aligned}$$

ผลของ proximity effect ซึ่งเกิดจากตัวนำเป็นชนิดตีเกลียว สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$Y_{cp} = 4F(X_p) \left[ \frac{0.295 \left( \frac{D_c}{S} \right)^2}{F(X_p) + 0.27} \right] \quad (4.14)$$

โดย

$$X_p = 0.875 \sqrt{\frac{fk_p}{R_{dc}}} \quad (4.15)$$

และ

$$\begin{aligned} f &= 50 \\ k_p &= 0.8 \end{aligned}$$

ค่าของ  $F(X_s)$ ,  $F(X_p)$  สามารถหาได้จากตารางที่ 3 ของภาคผนวก

ค่าของ  $k_s$ ,  $k_p$  หาได้จากตารางที่ 4 ของภาคผนวก

$$\begin{aligned} D_c &= \text{diameter of conductor} \\ S &= D_c + 2(T + Y_{cs}) \\ T &= \text{thickness of insulation} \end{aligned} \quad (4.16)$$

5.  $R_{ca}'$  ค่าความต้านทานทางความร้อน ซึ่งขึ้นกับรูปแบบการติดตั้ง และชนิดของสายเคเบิลที่ใช้ เนื่องจาก แต่ละชั้นฉนวนหรือ conduit จะเกิดค่าความต้านทานทางความร้อนเกิดขึ้น โดยจะได้ว่า ค่าความต้านทานทางความร้อนรวมมีค่าดังนี้

$$\bar{R}_{ca}' = \bar{R}_i + q_s \bar{R}_{se}' + q_e \bar{R}_e' \quad (4.17)$$

$$\bar{R}_i = 0.012 \bar{\rho}_i \log \left( \frac{D_i}{D_c} \right) \quad (4.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\rho_i$  thermal resistivity of insulation

XLPE 385 °C Cm / Watt

THW 357 °C Cm / Watt

NYY 357 °C Cm / Watt

$$D_i = D_c + 2T \quad (4.19)$$

ค่าของ  $q_s$  หาได้จาก

$$q_s = 1 + \left( \frac{Y_s}{1 + Y_c} \right) \quad (4.20)$$

โดย

$$Y_s = Y_{sc} + Y_{se} \quad (4.21)$$

$$Y_{sc} = \frac{X_m}{R_s R_{dc}} \quad (4.22)$$

$$X_m = 0.882f \log \frac{2S}{D_{sm}} \quad (4.23)$$

$$D_{sm} = D_s - t \quad (4.24)$$

เมื่อค่า  $t$  คือ thickness of sheath

$$R_s = \frac{\rho_s}{4D_{sm}t} \quad (4.25)$$

$\rho_s$  resistance of sheath

$$Y_{se} = \left( \frac{396}{R_s R_{dc}} \right) \times \left( \frac{2s}{D_{sm}} \right)^2 \quad (4.26)$$

$$s = 1.155T + 0.58D_c \quad (4.27)$$

$\bar{R}_{se}$  คือ ค่าความต้านทานทางความร้อนส่วนที่ถัดจากตัวนำออกมาจนถึงสิ่งแวดล้อม (Ambient) หรืออากาศภายนอก ซึ่งจะประกอบด้วย

$$\bar{R}_{se} = \bar{R}_j + \bar{R}_{sd} + \bar{R}_d \quad (4.28)$$

ค่า jacket, duct wall, and somastic coating คำนวณได้จาก

$$\bar{R}_j = 0.0140 \rho n' \left( \frac{t}{D-t} \right) \quad (4.29)$$

เมื่อ

$n'$  number of conductors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ  $D$  งานที่ outside diameter นั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า *cable surface and surrounding pipe, conduit, or duct wall* คำนวณได้จาก

$$\bar{R}_{sd} = \frac{n'A}{\left[1 + (B + CT_m)D_s'\right]} \quad (4.30)$$

เมื่อ

$$A = 17$$

$$B = 3.6$$

$$C = 0.029$$

ซึ่งค่าของ A, B, C สามารถหาได้จากตารางที่ 5 ของภาคผนวก

$$T_m = \frac{T_c + T_a}{2} \quad (4.31)$$

$$D_s' = 1.00 \times \text{diameter of cable for one cable}$$

$$= 1.65 \times \text{diameter of cable for two cable}$$

$$= 2.15 \times \text{diameter of cable for three cable}$$

$$= 2.50 \times \text{diameter of cable for four cable}$$

ในกรณีการเดินใน Dust Bank จะมีค่า  $\bar{R}_d$  ซึ่งหาได้จาก

$$\bar{R}_d = 0.0104 \rho_n' \left( \frac{t}{D-t} \right) \quad (4.32)$$

สำหรับค่าของ  $\rho_n'$  สามารถหาได้จากตารางที่ 2 ของภาคผนวก

$$q_e = 1 + \left( \frac{Y_s + Y_p}{1 + Y_c} \right) \quad (4.33)$$

โดย

$$Y_p = \frac{1.54s - 0.115D_p}{R_{dc}} \quad 3 \text{ conductor} \quad (4.34)$$

$$Y_p = \frac{0.895s - 0.115D_p}{R_{dc}} \quad 1 \text{ conductor-triangular} \quad (4.35)$$

$$Y_p = \frac{0.345s - 0.175D_p}{R_{dc}} \quad 1 \text{ conductor-cradled} \quad (4.36)$$

ค่า *cable, conduit, or duct suspended in air* คำนวณได้จาก

Re คือค่าความต้านทานทางความร้อนของ Ambient ซึ่งในการติดตั้งโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น  
 เอกสเดินลอยในอากาศ ( $\bar{R}_a$ ) และฝังดิน ( $\bar{R}_g$ ) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีเดินลอยในอากาศ

$$\bar{R}_e = \frac{15.6n'}{D_s' \left[ \left( \frac{\Delta T}{D_s} \right)^{\frac{1}{4}} + 1.6\mathcal{E}(1 + 0.0167T_m) \right]} \quad (4.37)$$

$$\Delta T = T_s - T_a \quad (4.38)$$

$$\mathcal{E} = 0.95 \quad (\text{pipe conduit, duct})$$

$$\mathcal{E} = 0.2-0.5 \quad (\text{lead and aluminum sheaths})$$

กรณี *between cables, ducts, or pipes and ambient earth*

$$\bar{R}_e = 0.012\rho_e n' \times \left[ \log \left( \frac{D_x}{D_e} \right) + (LF) \log \left[ \left( \frac{4L}{D_x} \right) F \right] \right] \quad (4.39)$$

$D_x$  diameter the effect of loss factor commences

$D_e$  diameter at start of earth portion of thermal circuit

$LF$  loss factor มีค่าเท่ากับ 0.8

$L$  depth of reference below earth's surface

$F$  product of ratio distance

ในกรณีการเดินใน Duct Bank จะมีค่าความต้านทานของ Duct Bank เป็นดังนี้

$$\bar{R}_e' = 0.012\bar{\rho}_e n' \left[ \log \left( \frac{D_x}{D_e} \right) + (LF) \log \left( \frac{4L \times F}{D_x} \right) \right] \quad (4.40)$$

ส่วนค่าแฟคเตอร์ F เกิดจากผลต่างความร้อนของสายเคเบิลหาได้จาก

$$F = \left( \frac{d_{12'}}{d_{12}} \right) \left( \frac{d_{13'}}{d_{13}} \right) \dots \dots \left( \frac{d_{1N'}}{d_{1N}} \right) \quad (4.41)$$

N แทนจำนวนท่อที่ใช้งานใน Duct Bank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ตัวอย่างการคำนวณค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิลที่ระดับแรงดันต่ำ (Low volt)

#### ตัวอย่างที่ 4.1 สาย THW ขนาด $2.5 \text{ mm}^2$ เดินลอยในอากาศ

ความต้านทานที่อุณหภูมิ $20^\circ\text{C}$ ( $R'_{dc}$ )	=	7.41	$\Omega / \text{km}$
$D_c$	=	1.78	mm. = 0.07 in
$D_i$	=	4	mm. = 0.157 in
$T_c$	=	70	$^\circ\text{C}$
$T_a$	=	40	$^\circ\text{C}$
$\bar{\rho}_{pvc}$	=	357	$^\circ\text{C Cm} / \text{watt}$

จาก 
$$I = \frac{T_c - (T_a + \Delta T_d)}{\sqrt{R_{dc}(1 + Y_c)R_{ca}'}}$$

ค่า  $\Delta T_d$  มีค่าประมาณ 0 ในระบบแรงดัน Low volt

1. หา  $R_{dc}$  จาก

$$\begin{aligned} R_{dc} &= R'_{dc} (304.8) \frac{[\tau + T_c]}{[\tau + 20]} \\ &= 7.41 (304.8) \frac{[234.5 + 70]}{[234.5 + 20]} \\ &= 2702.3 \quad \mu\Omega / \text{foot} \end{aligned}$$

2. หาค่า  $\bar{R}_{ca}'$  จาก

$$\bar{R}_{ca}' = \bar{R}_i + \bar{R}_e$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } \bar{R}_i &= 0.012 \bar{\rho}_i \log \frac{D_i}{D_c} \\ &= 0.012 (357) \log \frac{4}{1.78} \\ &= 1.51 \quad \text{Thermal Ohm-foot} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{R}_e = \frac{15.6 n'}{D_s' \{ (\Delta T / D_s')^{1/4} + 1.6 \epsilon (1 + 0.0167 T_m) \}}$$

$$\bar{R}_e = \frac{15.6}{0.157 \{ (30 / 0.157)^{1/4} + 1.6 (0.95) (1 + 0.0167 (55)) \}}$$

$$\bar{R}_e = 15 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\therefore \bar{R}_{ca}' = 15 + 1.51 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

3. หาค่า I จาก

$$I = \frac{T_c - (T_a + \Delta T_d)}{\sqrt{R_{dc}(1 + Y_c) R_{ca}'}}$$

$$= \frac{70 - 40}{\sqrt{(2702.3)(16.51)}}$$

$$= 26 \quad \text{A}$$

จากมาตรฐานจากการไฟฟ้านครหลวงมีพิคัดกระแส 23 A

### ตัวอย่างที่ 4.2 สาย XLPE แแกนเดี่ยวดินลอยในอากาศ

สาย XLPE ขนาด 25 mm<sup>2</sup>

ความต้านทานที่อุณหภูมิ 20 °C ( $R'_{dc}$ )	=	0.727	$\Omega/\text{km}$
$D_c$	=	6	mm. = 0.236 in.
$D_i = (D_c + 2T)$	=	(6+2*0.7)	= 7.4 mm. = 0.291 in.
$t$	=	1.4	mm. = 0.055 in.
$D_j$	=	11.5	mm. = 0.453 in.
$T_c$	=	90	°C
$T_a$	=	40	°C
$f$	=	50	Hz
$\bar{\rho}$ PVC	=	357	°C Cm/Watt
$\bar{\rho}$ XLPE	=	385	°C Cm/Watt

จาก 
$$I = \frac{T_c - (T_a + \Delta T_d)}{\sqrt{R_{dc}(1 + Y_c)R_{ca}'}}$$

ค่า  $\Delta T_d$  มีค่าประมาณ 0 ในระบบแรงดัน Low Voltage

- $$R_{dc} = \frac{(R'_{dc})(304.8)(234.5 + 90)}{(234.5 + 20)}$$

$$= \frac{(0.727)(304.8)(234.5 + 90)}{(234.5 + 20)}$$

$$= 282.537 \quad \mu\Omega/\text{foot}$$
- $$R_{ca}' = R_i + R_j + R_c$$

$$R_i = 0.012 (\bar{\rho}_i) \log (D_i / D_c)$$

$$= 0.012 (385) \log (0.291 / 0.236)$$

$$= 0.42 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$R_j = 0.0104 (\bar{\rho}_j) n' \frac{t}{(D_j - t)}$$

$$= 0.0104 (357)(1) \frac{(0.055)}{(0.453 - 0.055)}$$

$$= 0.513 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \bar{R}_c &= \frac{15.6n'}{D_s' [(\Delta T / D_s')^{1/4} + 1.6(0.95)(1 + 0.0167 T_m)]} \\ &= \frac{15.6(1)}{(0.453) [((90-40) / 0.453)^{1/4} + 1.6(0.95)(1 + 0.0167(90 + 40) / 2)]} \\ &= 5.371 \quad \text{Thermal Ohm-foot} \\ \bar{R}_{ca}' &= 0.421 + 0.513 + 5.371 \\ &= 6.305 \quad \text{Thermal Ohm-foot} \end{aligned}$$

$$3. Y_c = Y_{cs} + Y_{cp}$$

$$x_s = 0.875 \sqrt{fk_s / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(1) / (282.537)} = 0.368$$

$$Y_{cs} = F(x_s) = 0.0001$$

$$\begin{aligned} Y_c &= Y_{cs} \\ &= 0.0001 = 0.0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. I &= \sqrt{\frac{[(90) - (40)]}{(282.537)(1 + 0.0001)(6.305)}} \\ &= 0.167 \quad \text{KA} \\ &= 167 \quad \text{A} \end{aligned}$$

จากมาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวงมีพิกัดกระแส 148 A

ตัวอย่างที่ 4.3 สาย NYY แคนเดี่ยวจำนวน 3 เส้น เดินร้อยท่อในอากาศ

สาย NYY ขนาด 25 mm<sup>2</sup>

ความต้านทานที่อุณหภูมิ 20 °C ( $R'_{dc}$ )	=	0.727	$\Omega/\text{km}$
$D_c$	=	6.42	mm. = 0.253 in.
T	=	1.5	mm. = 0.059 in.
$D_i = (D_c + 2T)$	=	9.42	mm. = 0.371 in.
t	=	1.8	mm. = 0.070 in.
$D_j$	=	14.5	mm. = 0.57 in.
$T_c$	=	70	°C
$T_a$	=	40	°C
f	=	50	Hz
$\rho$ PVC	=	357	°C Cm/Watt
$n'$	=	3	
$D_s' = 2.15 (D_j)$	=	1.2255	in

จาก 
$$I = \frac{T_c - (T_a + \Delta T_d)}{\sqrt{R_{dc}(1 + Y_c) R_{ca}'}}$$

ค่า  $\Delta T_d$  มีค่าประมาณ 0 ในระบบแรงดัน Low Voltage

$$1. R_{dc} = \frac{(R'_{dc})(304.8)(234.5 + 70)}{(234.5 + 20)}$$

$$= \frac{(0.727)(304.8)(234.5 + 70)}{(234.5 + 20)}$$

$$= 265.15 \mu\Omega/\text{foot}$$

$$2. R_{ca}' = R_i + R_j + R_{sd} + R_e$$

$$R_i = 0.012 (\rho_i) \log (D_i / D_c)$$

$$= 0.012 (357) \log (0.371 / 0.253)$$

$$= 0.712 \text{ Thermal Ohm-foot}$$

$$R_j = 0.0104 (\rho_j) \frac{n' t}{(D_j - t)}$$

$$= 0.0104 (357)(1) \frac{(0.070)}{(0.57 - 0.070)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.5197 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\bar{R}_{sd} = \frac{n'(17)}{1 + (3.6 + 0.029T_m) D_s'}$$

$$= \frac{3(17)}{1 + (3.6 + 0.029(70 + 40)/2)(1.2255)}$$

$$= 6.923 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\bar{R}_c = \frac{15.6n'}{D_s' [(\Delta T / D_s')^{1/4} + 1.6(0.95)(1 + 0.0167\bar{T}_m)]}$$

$$= \frac{15.6(3)}{(1.2255) [(30 / 1.2255)^{1/4} + 1.6(0.95)(1 + 0.0167(70 + 40)/2)]}$$

$$= 8.289 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\bar{R}_{ca}' = 0.712 + 0.5197 + 6.923 + 8.289$$

$$= 16.44 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$3. Y_c = Y_{cs} + Y_{cp}$$

$$x_s = 0.875 \sqrt{fk_s / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(1) / (265.15)} = 0.38$$

$$Y_{cs} = F(x_s) = 0.0001$$

$$x_p = 0.875 \sqrt{fk_p / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(0.8) / (282.537)} = 0.34$$

$$F(x_p) = 0.0001$$

$$Y_{cp} = 4F(x_p) \left[ \frac{(0.295(D_c/S)^2)}{(F(x_p) + 0.27)} \right]$$

$$= 4(0.0001) \left[ \frac{[0.295(0.253/[0.253 + 2(0.0275 + 0.055)])^2]}{(0.0001 + 0.27)} \right]$$

$$= 0.00029$$

$$Y_c = Y_{cs} + Y_{cp}$$

$$= 0.0001 + 0.00029 = 0.00039$$

$$I = \sqrt{\frac{(70) - (40)}{(265.15)(1 + 0.00039)(16.44)}}$$

$$= 0.0829 \quad \text{KA}$$

$$= 82.9 \quad \text{A}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 4.4 สาย XLPE แกนเดียวจำนวน 3 เส้น เดินร้อยท่อในอากาศ

สาย XLPE ขนาด 25 mm<sup>2</sup>

$$\text{ความต้านทานที่อุณหภูมิ } 20^\circ\text{C } (R'_{dc}) = 0.727 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$D_c = 6 \text{ mm.} = 0.236 \text{ in.}$$

$$D_i = (D_c + 2T) = 7.4 \text{ mm.} = 0.291 \text{ in.}$$

$$t = 1.4 \text{ mm.} = 0.055 \text{ in.}$$

$$D_j = 11.5 \text{ mm.} = 0.453 \text{ in.}$$

$$T_c = 90^\circ\text{C}$$

$$T_a = 40^\circ\text{C}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$\rho_{\text{PVC}} = 357^\circ\text{C Cm/Watt}$$

$$\rho_{\text{XLPE}} = 385^\circ\text{C Cm/Watt}$$

$$n' = 3$$

$$D_s = 2.15 (D_j) = 0.97395 \text{ in}$$

จาก

$$I = \frac{\sqrt{T_c - (T_a + \Delta T_d)}}{\sqrt{R_{dc}(1 + Y_c)R_{ca}'}}$$

ค่า  $\Delta T_d$  มีค่าประมาณ 0 ในระบบแรงดัน Low Voltage

$$\begin{aligned} 1. R_{dc} &= \frac{(R'_{dc})(304.8)(234.5 + 90)}{(234.5 + 20)} \\ &= \frac{(0.727)(304.8)(234.5 + 90)}{(234.5 + 20)} \end{aligned}$$

$$= 282.537 \text{ } \mu\Omega/\text{foot}$$

$$2. R_{ca}' = R_i + R_j + R_{sd} + R_c$$

$$R_i = 0.012 (\rho_i) \log (D_i / D_c)$$

$$= 0.012 (385) \log (0.291 / 0.236)$$

$$= 0.42$$

Thermal Ohm-foot

$$R_j = \frac{0.0104 (\rho_j) n' t}{(D_j - t)}$$

$$= \frac{0.0104 (357) (1) (0.055)}{(0.453 - 0.055)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้(0.453-0.055)ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.513 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\bar{R}_{sd} = \frac{n'(17)}{1 + (3.6 + 0.029T_m) D_s'}$$

$$= \frac{3(17)}{1 + (3.6 + 0.029(90 + 40)/2)(0.97395)}$$

$$= 8.04 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\bar{R}_c = \frac{15.6n'}{D_s' [(\Delta T / D_s')^{1/4} + 1.6(0.95)(1 + 0.0167T_m)]}$$

$$= \frac{15.6(3)}{(0.97395) [(50/0.97395)^{1/4} + 1.6(0.95)(1 + 0.0167(90 + 40)/2)]}$$

$$= 8.218 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\bar{R}_{ca'} = 0.421 + 0.513 + 8.04 + 8.218$$

$$= 17.192 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$3. \quad Y_c = Y_{cs} + Y_{cp}$$

$$x_s = 0.875 \sqrt{fk_s / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(1) / (282.537)} = 0.368$$

$$Y_{cs} = F(x_s) = 0.0001$$

$$x_p = 0.875 \sqrt{fk_p / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(0.8) / (282.537)} = 0.329$$

$$F(x_p) = 0.0001$$

$$Y_{cp} = 4F(x_p) \left[ \frac{(0.295(D_c/S)^2)}{(F(x_p) + 0.27)} \right]$$

$$= 4(0.0001) \left[ \frac{[0.295(0.236/0.236 + 2(0.0275 + 0.055))^2]}{(0.0001 + 0.27)} \right]$$

$$= 0.00015$$

$$Y_c = Y_{cs} + Y_{cp}$$

$$= 0.0001 + 0.00015 = 0.00025$$

$$4. \quad I = \sqrt{\frac{(90) - (40)}{(282.537)(1 + 0.00025)(17.192)}}$$

$$= 0.101 \quad \text{KA}$$

$$= 101 \quad \text{A}$$

จากมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวงมีพิกัดกระแส 100 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 4.5 สาย XLPE แคนเดียวจำนวน 3 เส้น เดินร้อยท่อฝังดิน

สาย XLPE ขนาด 25 mm<sup>2</sup>

ความต้านทานที่อุณหภูมิ 20 °C ( $R'_{dc}$ )	=	0.727	$\Omega/\text{km}$
$D_c$	=	6	mm. = 0.236 in.
$D_i = (D_c + 2T)$	=	7.4	mm. = 0.291 in.
t	=	1.4	mm. = 0.055 in.
$D_j$	=	11.5	mm. = 0.453 in.
$T_c$	=	90	°C
$T_a$	=	30	°C
f	=	50	Hz
$\rho_{\text{PVC}}$	=	357	°C Cm/Watt
$\rho_{\text{XLPE}}$	=	385	°C Cm/Watt
$\rho_c$	=	30	°C Cm/Watt
$n'$	=	3	
$D_j'$	= 2.15 ( $D_j$ )	=	0.97395 in
L	= 5.9 + (1.25 / 2)	=	6.525 in.

$$\text{จาก } I = \frac{\sqrt{T_c - (T_a + \Delta T_d)}}{\sqrt{R_{dc}(1 + Y_c) R_{ca}'}}$$

ค่า  $\Delta T_d$  มีค่าประมาณ 0 ในระบบแรงดัน Low Voltage

$$1. R_{dc} = \frac{(R'_{dc})(304.8)(234.5 + 90)}{(234.5 + 20)}$$

$$= \frac{(0.727)(304.8)(234.5 + 90)}{(234.5 + 20)}$$

$$= 282.537 \quad \mu\Omega/\text{foot}$$

$$2. R_{ca}' = R_i + R_j + R_{sd} + R_c'$$

$$R_i = 0.012 (\rho_i) \log(D_i / D_c)$$

$$= 0.012 (385) \log(0.291 / 0.236)$$

$$= 0.42$$

Thermal Ohm-foot

$$R_j = 0.0104 (\rho_j) n' t$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภาค ( $D_j - t$ ) เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{0.0104(357)(1)(0.055)}{(0.453 - 0.055)}$$

$$= 0.513 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\bar{R}_{sd}' = \frac{n'(17)}{1 + (3.6 + 0.029T_m) D_s'}$$

$$= \frac{3(17)}{1 + (3.6 + 0.029(90 + 30)/2)(0.97395)}$$

$$= 8.224 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\bar{R}_c' = 0.012 (\rho_c) n' \left[ \log(D_x/D_c) + (LF) \log[(4L)F/D_x] \right]$$

หาขนาด  $D_c$  จากขนาดท่อร้อยสายซึ่ง กฟน. กำหนดให้ พท.หน้าตัดของสายเป็น 40% ของ พท.หน้าตัดของท่อ

$$\begin{aligned} \text{พท.หน้าตัดของสาย 3 เส้น} &= (3)\pi(0.453/2)^2 \\ &= 0.483 \text{ in}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ}(D_c) &= 2 \left[ \sqrt{(0.483)(10/4)/\pi} \right] \\ &= 1.24 = 1.25 \text{ in.} \end{aligned}$$

$$D_x = 8.3 \text{ in.}$$

$$LF = 0.8$$

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{(12')(13')}{12 \quad 13} \\ &= (13.28/2.5)(13.975/5) \\ &= 14.847 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_2 &= \frac{(21')(23')}{21 \quad 23} \\ &= (13.28/2.5)(13.28/2.5) \\ &= 28.21 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{R}_{c1}' &= 0.012(30)(3) \left[ \log(8.3/1.25) + 0.8 \log \left[ \frac{4(6.525)}{8.3} / (14.847) \right] \right] \\ &= 2.33 \quad \text{Thermal Ohm-foot} \end{aligned}$$

$$\bar{R}_{c2}' = 0.012(30)(3) \left[ \log(8.3/1.25) + 0.8 \log \left[ \frac{4(6.525)}{8.3} / (28.21) \right] \right]$$

$$= 2.57 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น และอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \bar{R}_{ca} \text{ ของท่อที่ 1,3} &= 0.421 + 0.513 + 8.224 + 2.33 \\ &= 11.488 \quad \text{Thermal Ohm-foot} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{R}_{ca} \text{ ของท่อที่ 2} &= 0.421 + 0.513 + 8.224 + 2.57 \\ &= 11.728 \quad \text{Thermal Ohm-foot} \end{aligned}$$

$$3. Y_c = Y_{cs} + Y_{cp}$$

$$x_s = 0.875 \sqrt{fk_s / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(1) / (282.537)} = 0.368$$

$$Y_{cs} = F(x_s) = 0.0001$$

$$x_p = 0.875 \sqrt{fk_p / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(0.8) / (282.537)} = 0.329$$

$$F(x_p) = 0.0001$$

$$\begin{aligned} Y_{cp} &= 4F(x_p) \left[ \frac{(0.295(D_c/S)^2) / (F(x_p) + 0.27)}{(0.0001 + 0.27)} \right] \\ &= 4(0.0001) \left[ \frac{0.295(0.236 / 0.236 + 2(0.0275 + 0.055))^2}{(0.0001 + 0.27)} \right] \end{aligned}$$

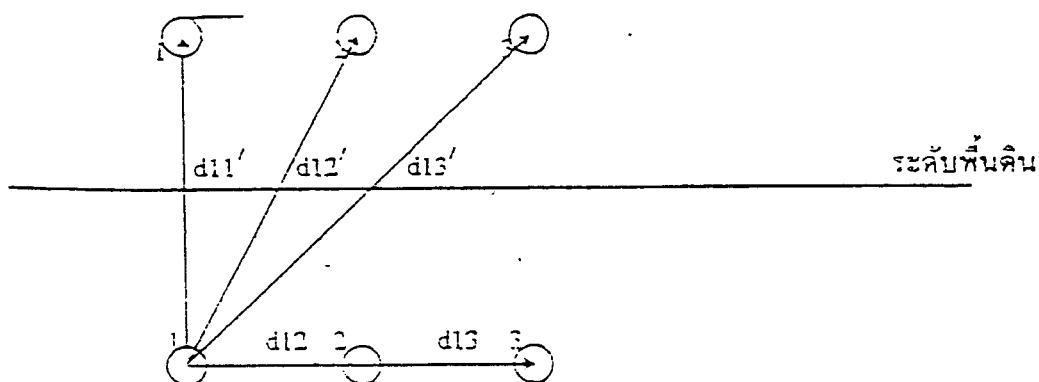
$$= 0.00015$$

$$\begin{aligned} Y_c &= Y_{cs} + Y_{cp} \\ &= 0.0001 + 0.00015 = 0.00025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ ของท่อที่ 1,3} &= \frac{(90) - (30)}{\sqrt{(282.537)(1 + 0.00025)(11.488)}} \\ &= 0.136 \quad \text{KA} \\ &= 136 \quad \text{A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I \text{ ของท่อที่ 2} &= \frac{(90) - (30)}{\sqrt{(282.537)(1 + 0.00025)(11.728)}} \\ &= 134 \quad \text{A} \end{aligned}$$

จากมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวงมีพิสัยกระแส 123 A



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบการฝังท่อใต้ดิน อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ตัวอย่างการคำนวณที่ระดับแรงดัน Medium Voltage

##### ตัวอย่างที่ 4.6 สาย XLPE แกนเคเบิลร้อยท่อในอากาศ

สาย XLPE ขนาด  $35 \text{ mm}^2$

ความต้านทานที่อุณหภูมิ 20 C. ( $R'_{dc}$ )	=	0.524	$\Omega/\text{km}$
$D_c$	=	7	mm. = 0.276 in.
T	=	5.5	mm. = 0.217 in.
$D_i = (D_c + 2T)$	=	18	mm. = 0.709 in.
t	=	1.8	mm. = 0.071 in.
$D_s$	=	26	mm. = 1.024 in.
$D_s' = 2.15 D_s$	=	55.9	mm. = 2.2 in.
$T_c$	=	90	$^{\circ}\text{C}$
$T_a$	=	40	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta T = T_c - T_a = 90 - 40$	=	50	$^{\circ}\text{C}$
$T_m = (T_c + T_a)/2 = (90 + 40)/2$	=	65	$^{\circ}\text{C}$
$\epsilon$	=	0.95	
f	=	50	Hz
$\rho_{\text{PVC}}$	=	357	$^{\circ}\text{C Cm/Watt}$
$\rho_{\text{XLPE}}$	=	385	$^{\circ}\text{C Cm/Watt}$
E	=	$24/\sqrt{3}$	kV
$\epsilon_r_{\text{XLPE}}$	=	2.5	
$\cos \phi$	=	0.005	

$$\text{จาก } I = \frac{\sqrt{T_c - (T_a + \Delta T d)}}{\sqrt{Rdc(1 + Yc)Rca'}}$$

$$\begin{aligned} 1. \quad \Delta T_d &= W_d R_{da}' \\ W_d &= \frac{0.00276 E^2 \epsilon_r \cos \phi}{\log D_i / D_c} \\ &= \frac{(0.00276)(24/\sqrt{3})^2 (2.5)(0.005)}{\log(0.709/0.276)} \end{aligned}$$

$$\therefore W_d = 0.016 \text{ Watt per Conductor foot}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่คำนวณไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\bar{R}_i &= 0.012 \rho_i \log D_i / D_c \\ &= (0.012)(385) \log (0.709 / 0.276) \\ \therefore R_i &= 1.90 \quad \text{Thermal Ohm-foot}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{R}_j &= \frac{0.0104 \rho_j n' t}{(D_s - t)} \\ &= (0.0104)(357)(1)(0.071 / (1.024 - 0.071)) \\ \therefore \bar{R}_j &= 0.28 \quad \text{Thermal Ohm-foot}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\bar{R}_c &= \frac{15.6n'}{D_s' [(\Delta T / D_s')^{1/4} + 1.6\epsilon(1 + 0.0167T_m)]} \\ &= \frac{(15.6)(3)}{2.2[(50 / 2.2)^{1/4} + (1.6)(0.95)(1 + (0.0167)(65))]} \\ \therefore \bar{R}_c &= \frac{3.97}{n' A}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_{sd} &= \frac{1 + (B + CT_m)D_s'}{A} \\ A &= 17 \\ B &= 3.6 \\ C &= 0.029 \\ R_{sd} &= \frac{(3)(17)}{1 + (3.6 + (0.029)(65))(2.2)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore R_{sd} &= 3.9 \\ \therefore \bar{R}_{da}' &= 1.9 / 2 + 0.28 + 3.97 + 3.9 = 9.1\end{aligned}$$

$$\Delta T_d = (0.016)(9.1)$$

$$\therefore \Delta T_d = 0.1456$$

$$\begin{aligned}2. R_{dc} &= \frac{R'_{dc}(304.8)(234.5 + T_c)}{(234.5 + 20)} \\ &= \frac{(0.524)(304.8)(234.5 + 90)}{(234.5 + 20)}\end{aligned}$$

$$\therefore R_{dc} = 203.65$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 3. \quad \overline{R_{ca'}} &= \overline{R_i} + \overline{R_j} + \overline{R_e} + \overline{R_{sd}} \\
 &= 1.9 + 0.28 + 3.97 + 3.9 \\
 \therefore \overline{R_{ca'}} &= 10.05
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \quad Y_c &= Y_{cs} + Y_{cp} \\
 x_s &= 0.875 \sqrt{fk_s / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(1) / (203.65)} = 0.43 \\
 Y_{cs} &= F(x_s) = 0.0002 \\
 x_p &= 0.875 \sqrt{fk_p / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(0.8) / (203.65)} = 0.39 \\
 F(x_p) &= 0.0001 \\
 Y_{cp} &= 4F(x_p) \left[ \frac{(0.295 (D_c / S)^2)}{(F(x_p) + 0.27)} \right] \\
 &= 4(0.0001) \left[ \frac{[0.295(0.276 / (0.276 + 2(0.216 + 0.071)))^2]}{(-0.0001 + 0.27)} \right] \\
 &= 0.000046 \\
 Y_c &= Y_{cs} + Y_{cp} \\
 &= 0.0002 + 0.000046 = 0.000246
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5. \quad I &= \frac{90 - (40 + 0.1456)}{\sqrt{(203.65)(1 + 0.000246)(10.05)}} \\
 &= 0.156 \text{ kA} \\
 &= 156 \text{ A}
 \end{aligned}$$

จากมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวงมีพิคัดกระแส 148 A

ตัวอย่างที่ 4.7 สาย XLPE แกนเดี่ยวเดินร้อยท่อใต้ดิน

สาย XLPE ขนาด  $300 \text{ mm}^2$

ความต้านทานที่อุณหภูมิ 20 C ( $R'_{dc}$ )	=	0.0601 $\Omega/\text{km}$
$D_c$	=	20.9 mm. = 0.823 in.
T	=	5.5 mm. = 0.217 in.
$D_i = (D_c + 2T)$	=	31.9 mm. = 1.256 in.
t	=	2.2 mm. = 0.087 in.
$D_s$	=	41 mm. = 1.614 in.
$D_s' = 2.15 D_s$	=	88.15 mm. = 3.471 in.
$D_x$	=	8.3 in.
$\rho_c$	=	30
LF	=	0.8
$T_c$	=	90 $^{\circ}\text{C}$
$T_a$	=	30 $^{\circ}\text{C}$
$T_m = (T_c + T_a)/2 = (90 + 30)/2$	=	60 $^{\circ}\text{C}$
f	=	50 Hz
$\rho_{PVC}$	=	357 $^{\circ}\text{C Cm/Watt}$
$\rho_{XLPE}$	=	385 $^{\circ}\text{C Cm/Watt}$
E	=	$24/\sqrt{3}$ kV
$\epsilon_r$ XLPE	=	2.5
$\cos \phi$	=	0.005

$$\text{จาก } I = \sqrt{\frac{Tc - (Ta + \Delta Td)}{Rdc(1 + Yc)Rca'}}$$

$$1. \quad \Delta T_d = W_d R_{da}'$$

$$\begin{aligned} W_d &= \frac{0.00276 E^2 \epsilon_r \cos \phi}{\log D_i / D_c} \\ &= \frac{(0.00276)(24/\sqrt{3})^2 (2.5)(0.005)}{\log (1.256 / 0.823)} \end{aligned}$$

$$\therefore W_d = 0.036 \quad \text{Watt per conductor foot}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับ R/2 + R<sub>j</sub> + R<sub>c</sub> + R<sub>sd</sub> การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\bar{R}_i &= 0.012 \bar{\rho}_i \log D_i / D_c \\ &= (0.012)(385) \log (1.256 / 0.823)\end{aligned}$$

$$\therefore \bar{R}_i = 0.848 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\begin{aligned}\bar{R}_j &= 0.0104 \rho_j n' (t / (D_s - t)) \\ &= (0.0104)(357)(1)(0.087 / (1.614 - 0.087))\end{aligned}$$

$$\therefore \bar{R}_j = 0.211 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\bar{R}_{c'} = 0.012 \bar{\rho}_c n' [\log D_x / D_c + (LF) \log [(4L)(F) / (D_x)]]$$

วิธีการเลือกขนาดท่อ

1. คำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายที่จะใส่ในท่อทั้งหมด

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของสายขนาด } 300 \text{ mm}^2 = \pi (1.614 / 2)^2 = 2.046 \text{ in.}^2$$

จำนวนสายในท่อเท่ากับ 3 เส้น

$$\therefore \text{พื้นที่หน้าตัดของสายที่จะใส่ในท่อทั้งหมด} = 3(2.046) = 6.138 \text{ in.}^2$$

2. การไฟฟ้านครหลวงกำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของสายทั้งหมดไม่เกิน 40% ของพื้นที่หน้าตัดของท่อ พิจารณา

$$\text{ท่อขนาด } 4 \text{ นิ้ว จะมีพื้นที่หน้าตัดสายทั้งหมดได้ไม่เกิน } 5.0265 \text{ in.}^2$$

$$\text{ท่อขนาด } 4 \frac{1}{2} \text{ นิ้ว จะมีพื้นที่หน้าตัดสายทั้งหมดได้ไม่เกิน } 6.3617 \text{ in.}^2$$

ดังนั้นเลือกท่อขนาด 4 1/2 นิ้ว

$$D_c = 4 \frac{1}{2} \text{ นิ้ว}$$

$$L = 15 \text{ cm} + D_c / 2 = 15 / 2.54 + 4.5 / 2 = 8.156 \text{ นิ้ว}$$

F จะมีวิธีคิด 2 แบบ คือ

1. ใช้ท่อด้านข้างเป็น reference

$$F = (47.45)(61.95)^{-1}(23)(46) = 2.78$$

$$\bar{R}_{c'} = (0.012)(30)(3) [\log (8.3 / 4.5) + 0.8 \log [(4)(8.156)(2.78) / (8.3)]]$$

$$\therefore \bar{R}_{c'} = 1.184 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$R_{sd} = \frac{n' A}{1 + (B + CT_m) D_{s'}}$$

$$A = 17$$

$$B = 3.6$$

$$C = 0.029$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\overline{R}_{sd} = \frac{(3)(17)}{1 + (3.6 + (0.029)(60))(3.471)}$$

$$\therefore R_{sd} = 2.61 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\begin{aligned} \therefore R_{da}' &= 0.848 / 2 + 0.211 + 1.184 + 2.61 \\ &= 4.429 \quad \text{Thermal Ohm-foot} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \Delta T_d &= (0.036)(4.429) \\ &= 0.1594 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad R_{dc} &= R'_{dc} (304.8) \frac{(234.5 + T_c)}{(234.5 + 20)} \\ &= (0.0601)(304.8) \frac{(234.5 + 90)}{(234.5 + 20)} \end{aligned}$$

$$\therefore R_{dc} = \frac{23.36}{\mu\Omega / \text{foot}}$$

$$\begin{aligned} 3. \quad \overline{R}_{ca}' &= \frac{R_i + R_j + R_e + R_{sd}}{R_i + R_j + R_e + R_{sd}} \\ &= \frac{0.848 + 0.211 + 1.184 + 2.61}{4.853} \\ &= 4.853 \quad \text{Thermal Ohm-foot} \end{aligned}$$

$$4. \quad Y_c = Y_{cs} + Y_{cp}$$

$$x_s = 0.875 \sqrt{fk_s / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(1) / (23.36)} = 1.28$$

$$Y_{cs} = F(x_s) = 0.0138$$

$$x_p = 0.875 \sqrt{fk_p / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(0.8) / (23.36)} = 1.15$$

$$F(x_p) = 0.009$$

$$Y_{cp} = 4F(x_p) \left[ (0.295 (D_c / S)^2) / (F(x_p) + 0.27) \right]$$

$$= 4(0.009) \left[ [0.295(0.823 / (0.823 + 2(0.217 + 0.087)))^2] / (0.009 + 0.27) \right]$$

$$= 0.012618$$

$$\begin{aligned} Y_c &= Y_{cs} + Y_{cp} \\ &= 0.0138 + 0.012618 \end{aligned}$$

$$= 0.026418$$

$$I = \sqrt{\frac{90 - (30 + 0.1594)}{(23.36)(1.026418)(4.853)}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ 717 ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้ท่อตรงกลางเป็น reference

$$F = (47.45)(47.45) / (23)(23)$$

$$= 4.26$$

$$R_e' = (0.012)(30)(3) \left[ \log(8.3 / 4.5) + 0.8 \log \left[ (4)(8.156)(4.26) / (8.3) \right] \right]$$

$$R_e' = 1.345 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$R_{da}' = 0.848 / 2 + 0.211 + 1.345 + 2.61$$

$$= 4.59$$

Thermal Ohm-foot

$$\therefore \Delta T_d = (0.036)(4.59)$$

$$= 0.1652$$

$$R_{ca}' = R_i + R_j + R_e + R_{sd}$$

$$= 0.848 + 0.211 + 1.345 + 2.61$$

$$= 5.014$$

Thermal Ohm-foot

$$I = \frac{\sqrt{90 - (30 + 0.1652)}}{\sqrt{(23.36)(1.026418)(5.014)}}$$

$$= 0.706 \text{ kA}$$

$$= 706 \text{ A}$$

จากค่ามาตรฐานการไฟฟ้านครหลวงมีพิกัดกระแส 650 A

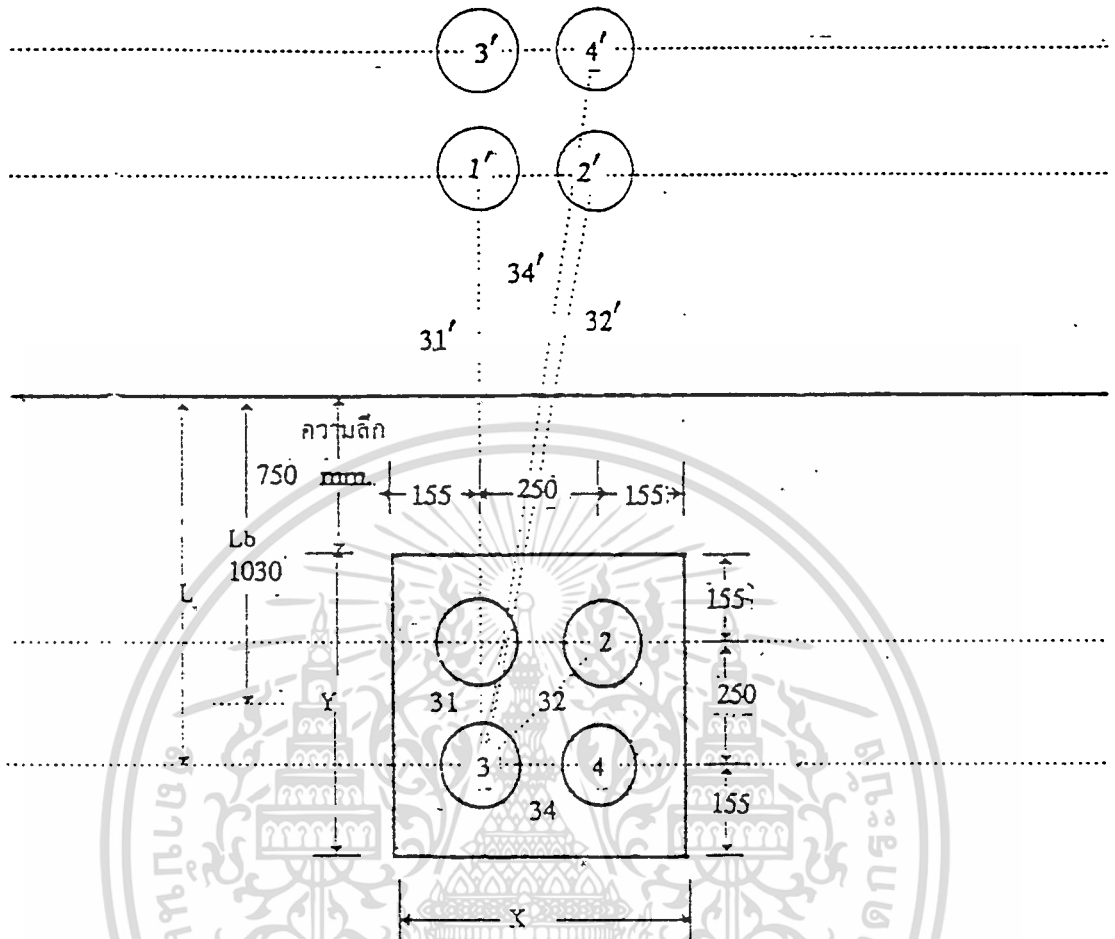
ตัวอย่างที่ 4.8 สาย XLPE แแกนเดี่ยวเดินใน Duct Bank ฝังดิน

สาย XLPE ขนาด  $240 \text{ mm}^2$

ความต้านทานที่อุณหภูมิ $20 \text{ C}$ ( $R'_{dc}$ )	=	0.524	$\Omega/\text{km}$
$D_c$	=	7	mm. = 0.276 in.
$T$	=	5.5	mm. = 0.217 in.
$D_i = (D_c + 2T)$	=	18	mm. = 0.709 in.
$t$	=	1.8	mm. = 0.071 in.
$D_s$	=	26	mm. = 1.024 in.
$D_s' = 2.15 D_s$	=	55.9	mm. = 2.2 in.
$T_c$	=	90	$^{\circ}\text{C}$
$T_a$	=	30	$^{\circ}\text{C}$
$\Delta T = T_c - T_a = 90 - 30$	=	60	$^{\circ}\text{C}$
$T_m = (T_c + T_a)/2 = (90 + 30)/2$	=	60	$^{\circ}\text{C}$
$\epsilon$	=	0.95	
$f$	=	50	Hz
$\rho_{PVC}$	=	357	$^{\circ}\text{C Cm/Watt}$
$\rho_{XLPE}$	=	385	$^{\circ}\text{C Cm/Watt}$
$\rho_e$	=	30	$^{\circ}\text{C Cm/Watt}$
$\rho_c$ (concrete)	=	85	$^{\circ}\text{C Cm/Watt}$
$\rho_d$ (Duct wall)	=	500	$^{\circ}\text{C Cm/Watt}$
$E$	=	$24/\sqrt{3}$	kV
$\epsilon_r$ XLPE	=	2.5	
$\cos \phi$	=	0.005	
Duct Bank ขนาด 2*2 จำนวน 4วงจร			
$\phi$ ของท่อมีขนาด	=	140	mm. = 5.5 in.
$t$ ความหนาของท่อ Asbestos Cement Duct	=	0.5	in.

จาก 
$$I = \frac{\sqrt{T_c - (T_a + \Delta T d)}}{\sqrt{R_{dc}(1 + Y_c)R_{ca}'}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงรูป Duct bank ขนาด 2\*2

$$\begin{aligned}
 1. \quad \Delta T_d &= W_d R_{da}' \\
 W_d &= \frac{0.00276 E^2 \epsilon_r \cos \phi}{\log D_i / D_c} \\
 &= \frac{(0.00276)(24 / \sqrt{3})^2 (2.5)(0.005)}{\log (1.17 / 0.736)} \\
 \therefore W_d &= \frac{0.033}{\text{---}} \quad \text{Watt per Conductor foot} \\
 \overline{R_{da}'} &= R_i / 2 + R_j + R_d + R_c' \\
 \overline{R_i} &= 0.012 \rho_i \log D_i / D_c \\
 &= (0.012)(385) \log (1.17 / 0.736) \\
 \therefore R_i &= 0.93 \quad \text{Thermal Ohm-foot}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \overline{R_j} &= \frac{0.0104 \overline{\rho_j} n' t}{(D_s - t)} \\ &= \frac{(0.0104)(357)(3)(2.1)}{(3.8 - 2.1)} \\ \therefore \overline{R_j} &= 0.65 \quad \text{Thermal Ohm-foot} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{R_d} &= \frac{0.0104 \overline{\rho_d} n' t}{(D - t)} \\ &= \frac{0.0104(500)(3)(0.5)}{(5.5 - 0.5)} \\ &= 1.56 \quad \text{Thermal Ohm-foot} \end{aligned}$$

$$\overline{R_c} = 0.012 \overline{\rho_c} n' \left\{ \log \left( \frac{D_x}{D_c} \right) + (LF) \log \left[ \left( \frac{4L}{D_x} \right) F \right] \right\} + 0.012 (\overline{\rho_c} - \overline{\rho_d}) n' N (LF) G_b$$

- N = 4      วงจร
- n' = 3      เส้นใน 1 วงจร
- L<sub>b</sub> = 40.55 in.
- P = 88.19 in.

จากกราฟ G<sub>b</sub> = 0.81

ฝั่ง Duct Bank ลึก = 750 mm.

$$\begin{aligned} F \text{ ของท่อ } 1,2 &= \frac{(12')(13')(14')}{12 \cdot 13 \cdot 14} = \frac{(1827.7)(2060)(2075)}{250 \cdot 250 \cdot 353.5} \\ &= 353.6 \end{aligned}$$

ความลึกจากผิวดิน (L) = 750+155 mm. = 35.63 in.

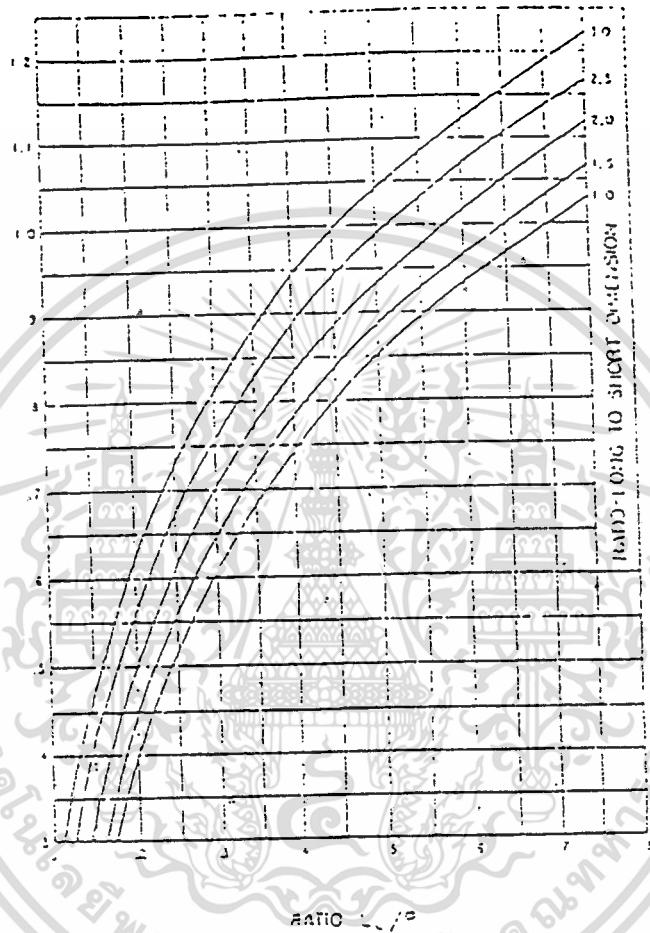
$$\begin{aligned} F \text{ ของท่อ } 3,4 &= \frac{(31')(32')(34')}{31 \cdot 32 \cdot 34} = \frac{(2060)(2075)(2323.5)}{250 \cdot 353.5 \cdot 250} \\ &= 449.5 \end{aligned}$$

ความลึกจากผิวดิน (L) = 750+155+250 mm. = 45.47 in.

$$\begin{aligned} \overline{R_c} \text{ ของท่อที่ } 1,2 &= 0.012 (85)(3) \left\{ \log(8.3/5.5) + (0.8) \log \left[ 4(35.63)(353.6)/(8.3) \right] \right\} \\ &\quad + 0.012 (85 - 30)(3)(4)(0.8)(0.81) \cdot \end{aligned}$$

$$= 14.94 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นจำเป็นต้องใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าของ  $G$  ที่ใช้ในการคำนวณใน Duct bank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{R}'_{e'} \text{ ของท่อที่ 3,4} = 0.012(85)(3) \{ \log(8.3/5.5) + (0.8) \log[4(45.47)(449.5)/(8.3)] \} \\ + 0.012(85-30)(3)(4)(0.8)(0.81)$$

$$= 15.45 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\therefore \bar{R}'_{da'} = 0.93/2 + 0.65 + 1.56 + 14.94$$

$$= 17.615 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\bar{R}_{da'} = 0.93/2 + 0.65 + 1.56 + 15.45$$

$$= 18.125 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\Delta T_d = (0.033)(17.615)$$

$$= 0.58 \quad ^\circ\text{C}$$

$$\therefore \Delta T_d = (0.033)(18.0626)$$

$$= 0.6 \quad ^\circ\text{C}$$

$$2. R_{dc} = R'_{dc} \frac{(304.8)(234.5 + T_c)}{(234.5 + 20)}$$

$$= \frac{(0.0754)(304.8)(234.5 + 90)}{(234.5 + 20)}$$

$$\therefore R_{dc} = 29.3 \quad \mu\Omega/\text{foot}$$

$$3. \bar{R}_{ca'} = \bar{R}_i + \bar{R}_j + \bar{R}_d + \bar{R}'_{e'}$$

$$= 0.93 + 0.65 + 1.4976 + 14.94$$

$$= 18 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$\therefore \bar{R}_{ca'} = 0.93 + 0.65 + 1.4976 + 15.45$$

$$= 18.5 \quad \text{Thermal Ohm-foot}$$

$$4. Y_c = Y_{cs} + Y_{cp}$$

$$x_s = 0.875 \sqrt{fk_s / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(1) / (29.3)} = 1.14$$

$$Y_{cs} = F(x_s) = 0.0087$$

$$x_p = 0.875 \sqrt{fk_p / R_{dc}} = 0.875 \sqrt{(50)(0.8) / (29.3)} = 1.02$$

$$F(x_p) = 0.0056$$

$$Y_{cp} = 4F(x_p) \left[ \frac{(0.295 (D_c / S)^2)}{(F(x_p) + 0.27)} \right]$$

$$= \frac{4(0.0056) \left[ \frac{0.295(18.7 / 18.7 + 2(5.5 + 2.1))^2}{(0.0056 + 0.27)} \right]}{(0.0056 + 0.27)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= 0.0073 \\
 Y_c &= Y_{cs} + Y_{cp} \\
 &= 0.0087 + 0.0073 = 0.016
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5. \quad I \text{ ของท่อที่ } 1,2 &= \sqrt{\frac{90 - (30 + 0.58)}{(29.3)(1 + 0.016)(18)}} \\
 &= 0.333 \quad \text{kA}
 \end{aligned}$$

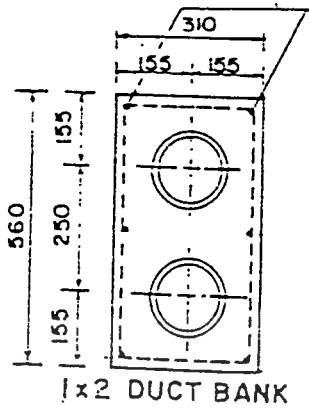
$$\begin{aligned}
 I \text{ ของท่อที่ } 3,4 &= \sqrt{\frac{90 - (30 + 0.6)}{(29.3)(1 + 0.016)(18.5)}} \\
 &= 0.328 \quad \text{kA} \\
 &= 328 \quad \text{A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ค่ากระแสเฉลี่ยทั้ง 4 วงจร} &= [(328 * 2) + (324 * 2)] / 4 \\
 &= 326 \quad \text{A}
 \end{aligned}$$

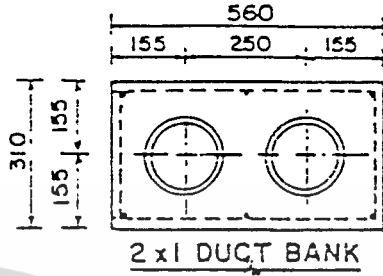
**หมายเหตุ** ปกติแล้ววัสดุของท่อร้อยสายได้ดินแรงสูง ( Duct bank ) จะต้องป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับสายได้ดินได้ หากใช้ท่อ asbestos cement จะต้องหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ถ้าหากว่าใช้ท่อ High Density Polyethylene ( HDPE ) หรือ Fiber Glass Reinforced epoxy (FRE) ให้ติดตั้งตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง จำนวนท่อให้พิจารณาจากตารางที่ 4.1

จำนวนท่อที่ใช้งาน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
จำนวนท่อที่ก่อสร้าง	2	3	4	6	6	8	9	10	12	12	15	15	15	18	18

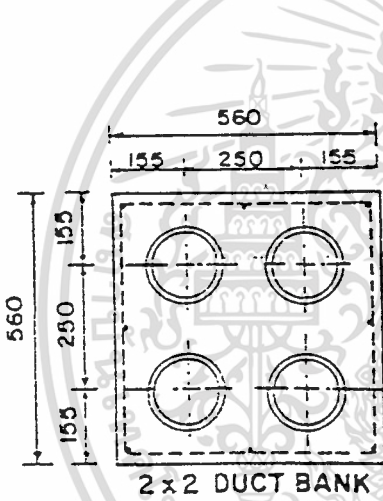
ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนท่อที่ติดตั้งตามมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง  
ซึ่งมิติต่าง ๆ ของ Duct bank ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4.4



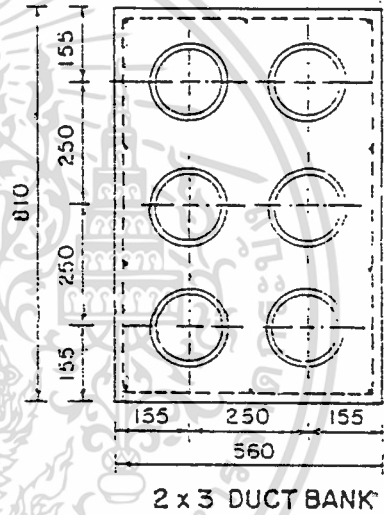
1x2 DUCT BANK



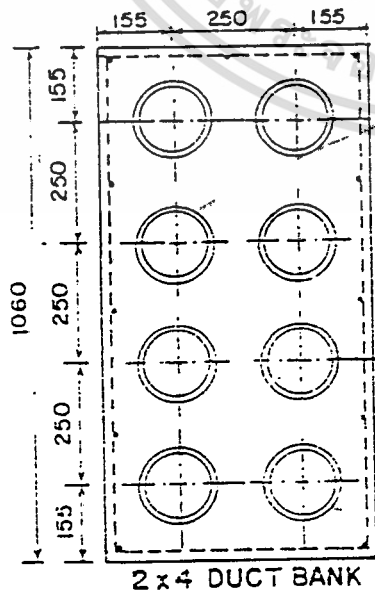
2x1 DUCT BANK



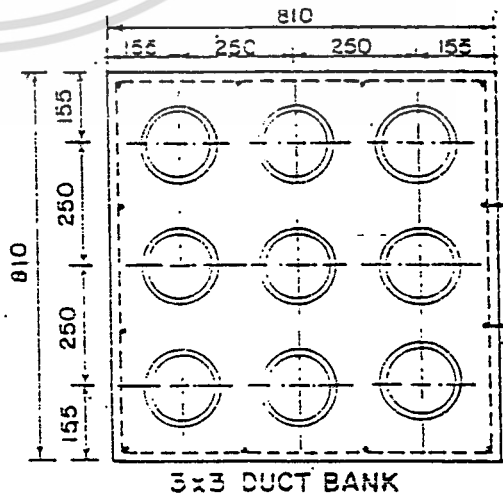
2x2 DUCT BANK



2x3 DUCT BANK

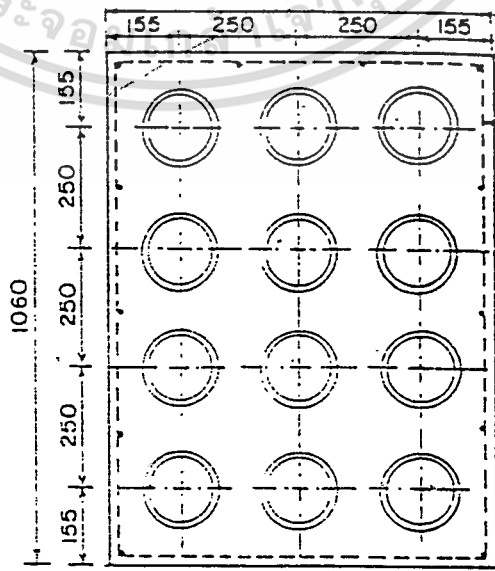
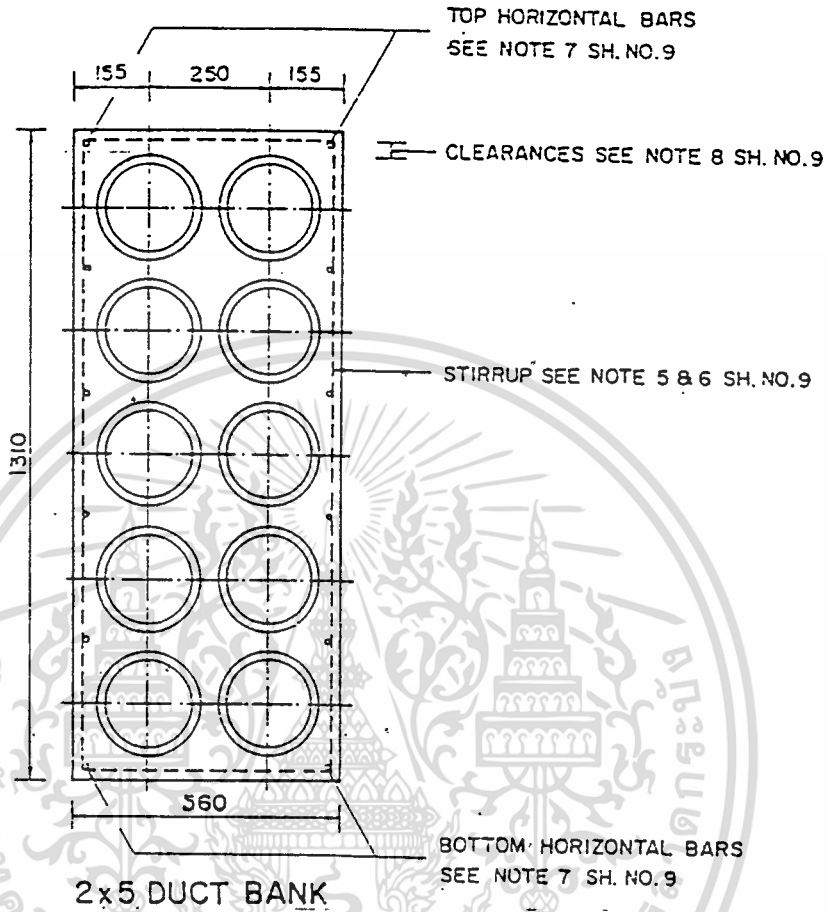


2x4 DUCT BANK

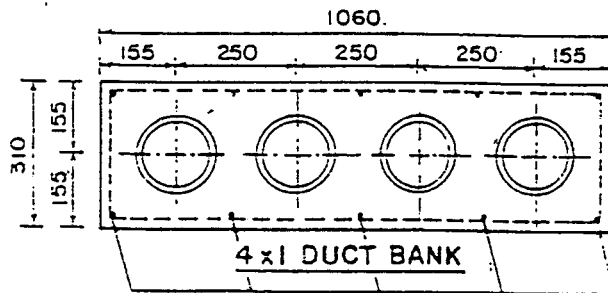
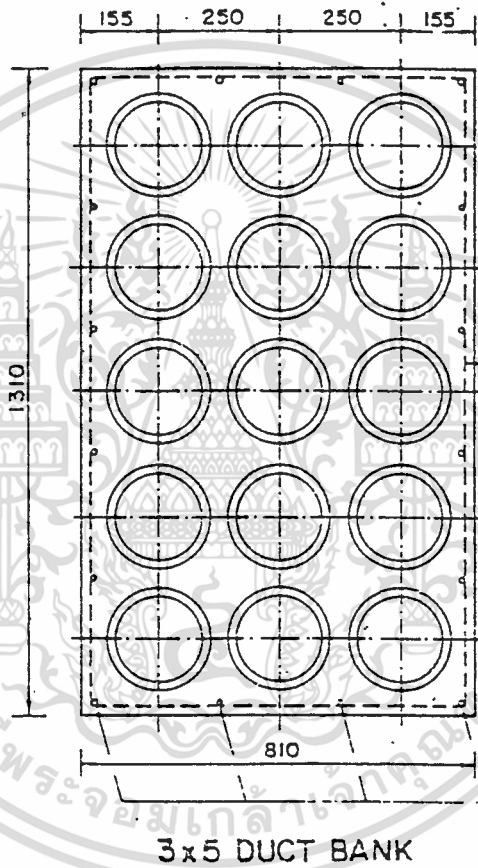
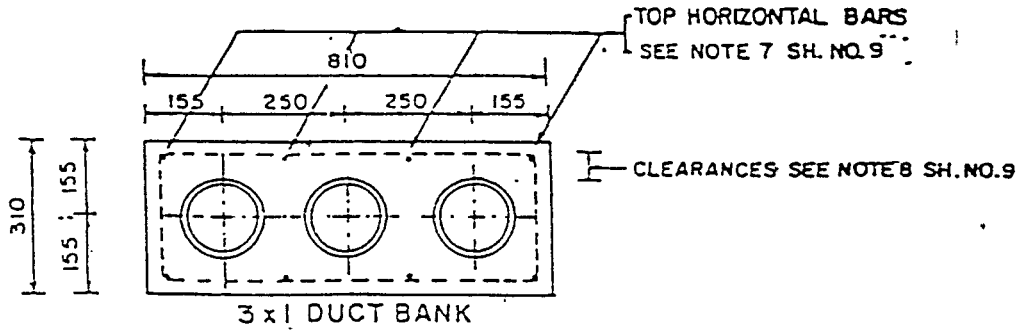


3x3 DUCT BANK

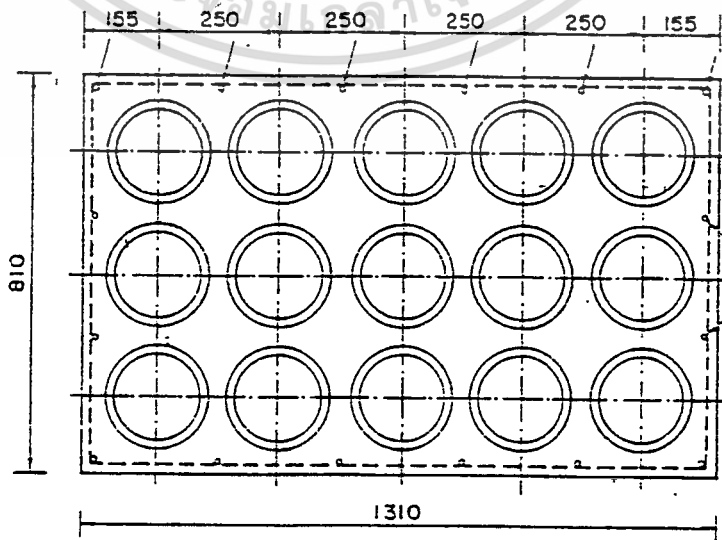
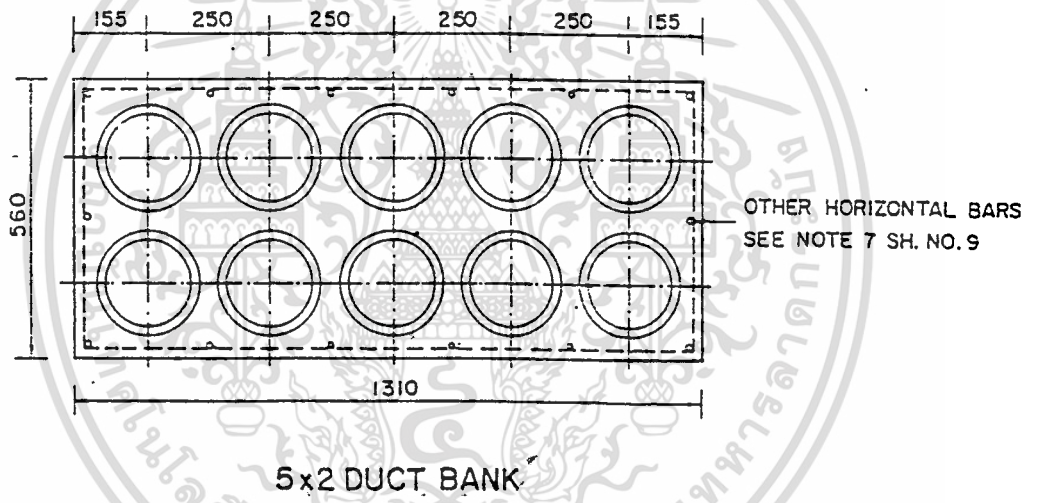
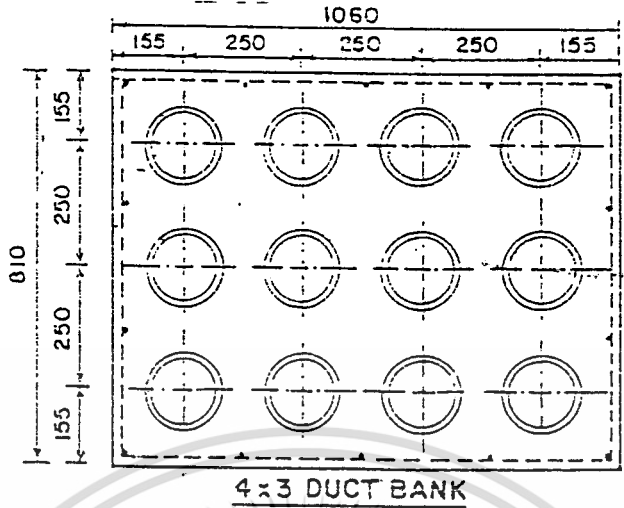
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



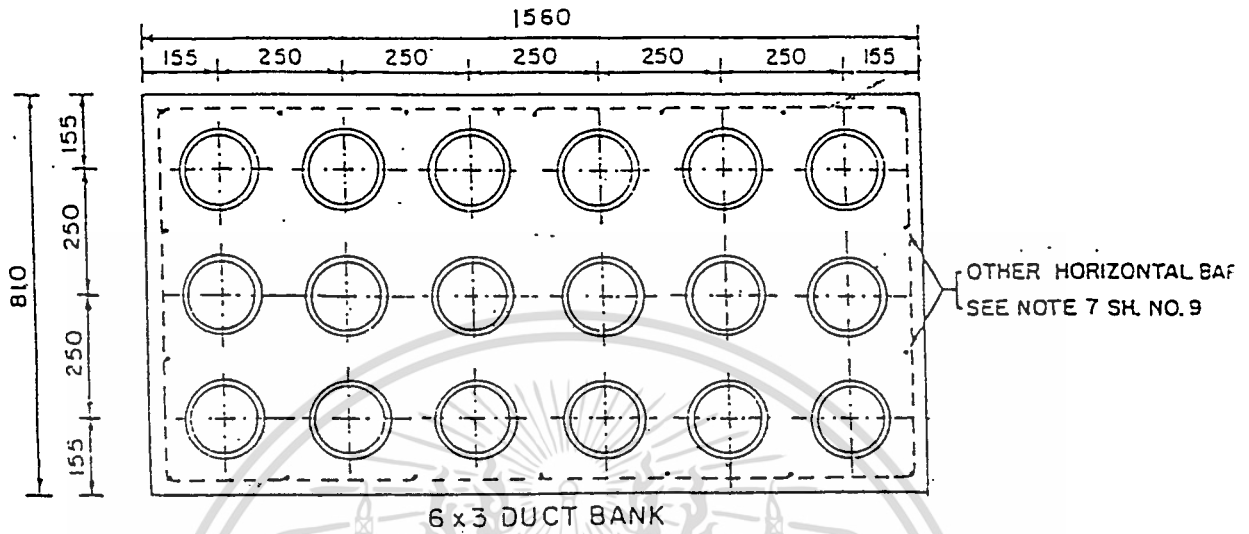
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูงาน และอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



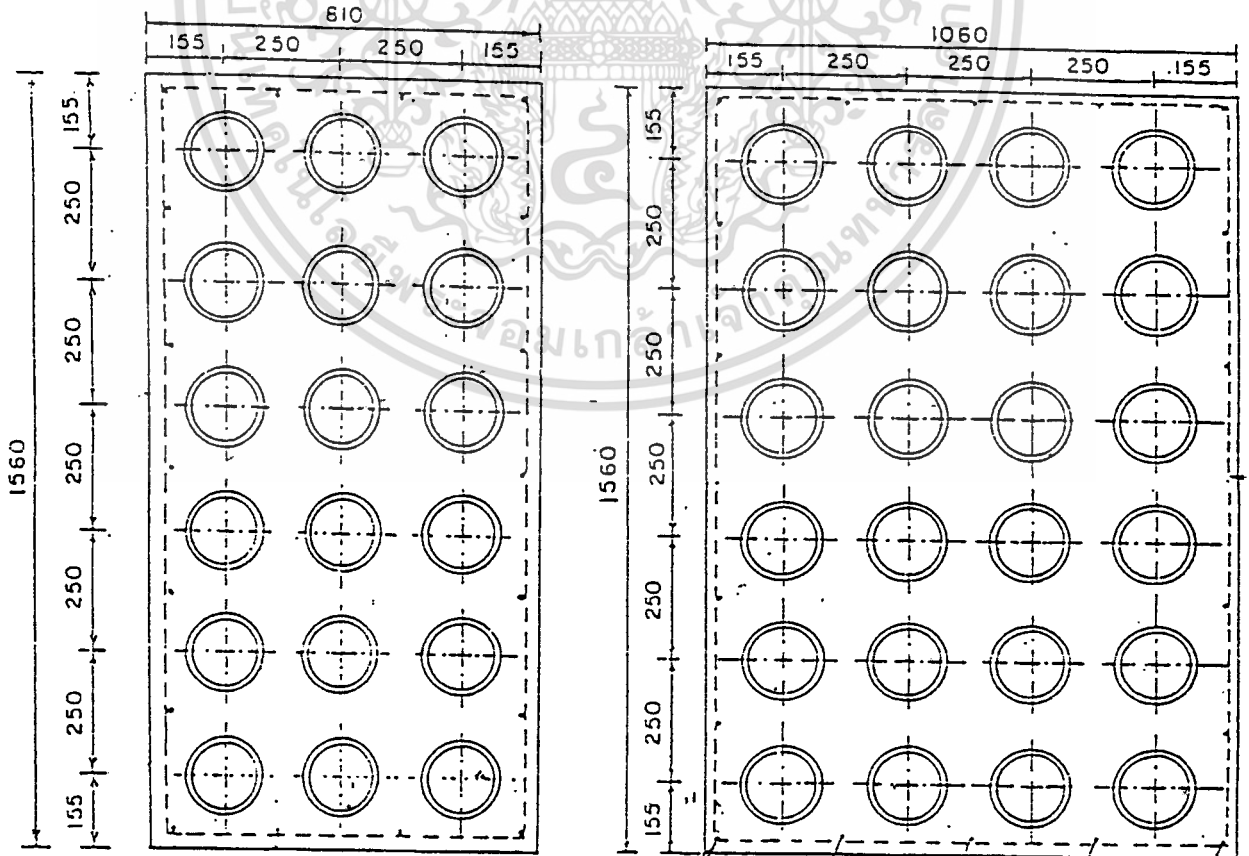
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6 x 3 DUCT BANK



3 x 6 DUCT BANK

4 x 6 DUCT BANK

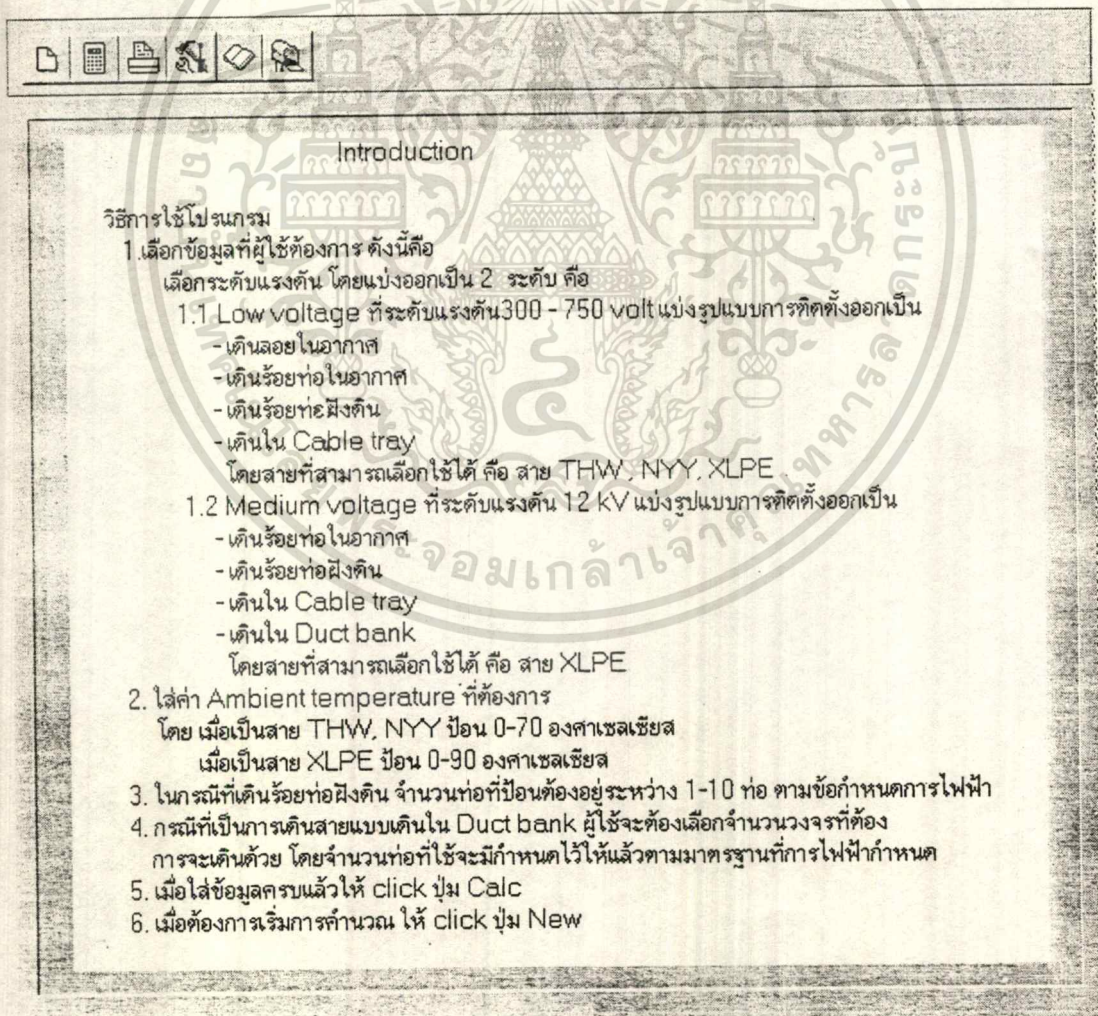
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมการช่างเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 4.4 แสดงมิติต่างๆ ของ DUCT BANK ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณหาค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิล

#### 5.1 การใช้งานโปรแกรม ( Program manual )

การใช้งานโปรแกรมการคำนวณหาค่าพิกัดกระแสของสายเคเบิล จะต้องใช้งานบน Window 95 หรือ Window NT โดยก่อนที่จะใช้งานต้องทำการ copy ข้อมูลของสายเคเบิลต่าง ๆ ลงในคอมพิวเตอร์ ใน Sub-director c:\.....\Delphi2\Demos\Data ทำการ copy โปรแกรมการคำนวณลงใน c:\project จากนั้นเรียก ( Run ) ไฟล์ ( File ) ที่ชื่อ Project 1 หน้าจอคอมพิวเตอร์จะปรากฏคำแนะนำในการใช้งาน ดังรูป 5.1

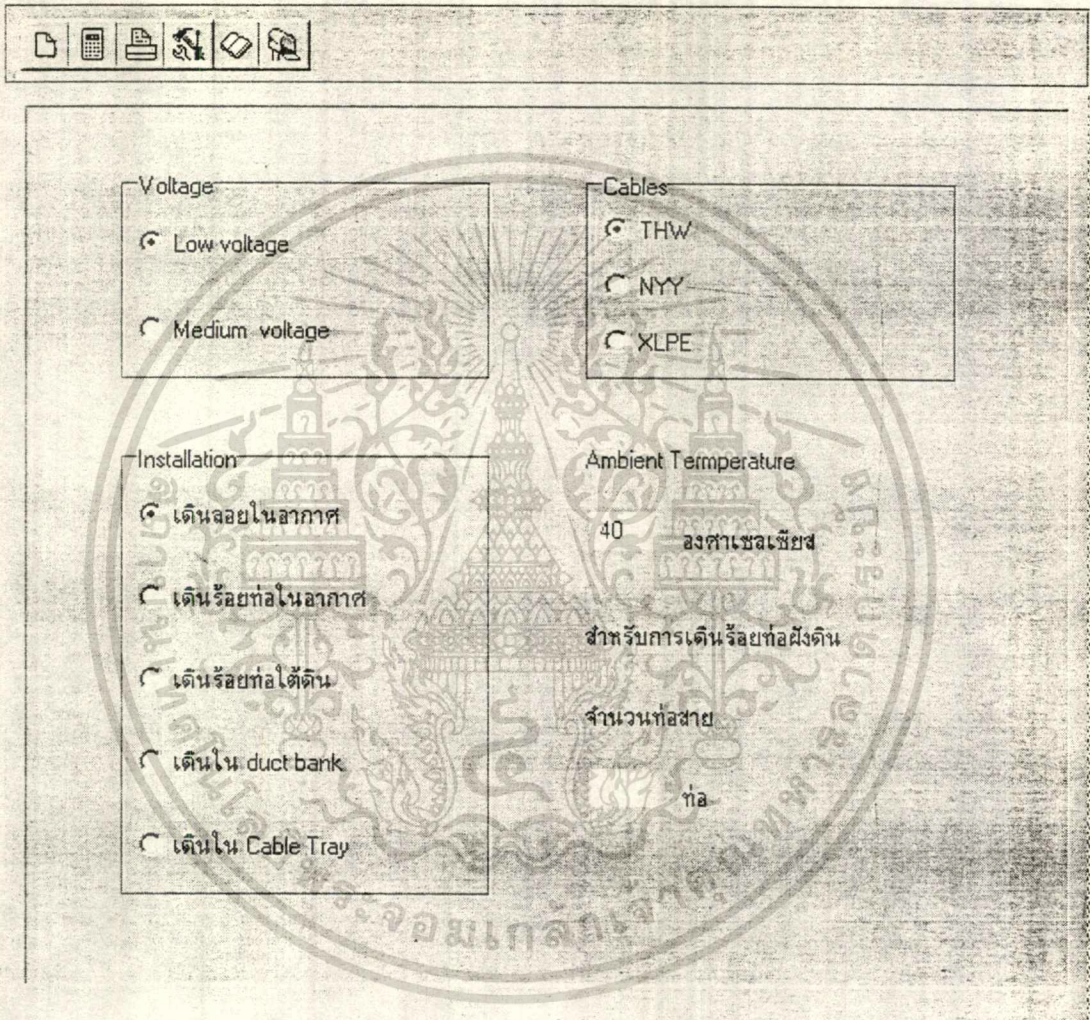


รูปที่ 5.1 หน้าจอแรกแสดงคำแนะนำในการใช้งานโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเมนูหลัก (Main Menu ) สามารถเรียกใช้งานโปรแกรมได้ดังนี้คือ

1. Menu New เมื่อต้องการเริ่มการคำนวณ ให้ Click ที่ New จะปรากฏหน้าจอ ดังรูปที่ 5.2 เพื่อให้ผู้ใช้ทำการป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ และในกรณีที่ต้องการจะเริ่มต้นการคำนวณใหม่ทุกครั้งให้ Click ที่ New จะปรากฏหน้าจอเดิม



รูปที่ 5.2 แสดงหน้าจอที่ไว้ป้อนค่าก่อนการคำนวณ

2. Menu Calc เมื่อทำการป้อนข้อมูลสมบูรณ์แล้วให้ Click ที่ Calc คอมพิวเตอร์จะแสดงผลการคำนวณค่าพิกัดกระแสโดยเทียบกับค่าพิกัดกระแสจากมาตรฐานการไฟฟ้านครหลวง ดังรูปที่ 5.3

3. Menu Print เมื่อต้องการ Print หน้าจอใดก็ตามให้ Click ที่ Print

4. Menu Information เมื่อผู้ใช้ต้องการทราบถึงข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการติดตั้ง , ชนิดของสายเคเบิล ให้Click ที่ Data คอมพิวเตอร์จะแสดงผลหน้าจอ ดังรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Size(mm)	l	I[MEA](A)	
0.5	8.9505	9	ระดับแรงดัน : Low Voltage
1	13.205	14	
1.5	16.85	17	ชนิดขอลสาย Cable : THW
2.5	22.581	23	
4	30.878	31	รูปแบบการติดตั้ง : เดินลอยในอากาศ
6	41.983	42	
10	59.459	60	อุณหภูมิสภาพแวดล้อม
16	80.29	81	
25	110.86	111	40 องศาเซลเซียส
35	136.11	137	
50	166.56	169	
70	215.66	217	
95	268.74	271	
120	314.17	316	
150	362.26	364	
185	422.34	424	
240	504.76	509	
300	587.66	592	
400	693.43	696	
500	816.61	818	

รูปที่ 5.3 หน้าจอแสดงผลการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Print	Close		
รู้จักกับสายเคเบิล	รูปแบบการติดตั้ง	วิธีการใช้โปรแกรม	คุณสมบัติของสายเคเบิล

ส่วนประกอบหลักของสายเคเบิล

1. ตัวนำ (Conductor) มีหน้าที่เป็นสื่อกลางเพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโดยสะดวก ซึ่งโลหะที่ได้รับความนิยมมี 2 ชนิด คือ
  - 1.1 ทองแดง มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าดีกว่า
  - 1.2 มีน้ำหนักเบากว่า และราคาถูกลงกว่า ขนาดพื้นที่หน้าตัดมีขนาดใหญ่กว่า ส่งผลให้ความเข้มสนามไฟฟ้ารอบผิวตัวนำจะลดน้อยลงซึ่งลดผลของการเกิดโคโรน่า
2. ฉนวน (Insulation) มีหน้าที่หลักคือ ป้องกันกระแสรั่ว ฉนวนที่ใช้ในสายเคเบิลแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ
  - 2.1 ของแข็ง ได้แก่ สารโพลีเมอร์ชนิดต่าง ๆ
  - 2.2 ของเหลว ได้แก่ oil base มีลักษณะเช่นเดียวกับน้ำมันของหม้อแปลง
  - 2.3 ก๊าซ ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน , SF6 เป็นต้น

รูปที่ 5.4 หน้าจอแสดงแสดงข้อมูลเพิ่มเติม

## 5.2 การป้อนข้อมูลในการคำนวณ

จากรูปที่ 5.2 ข้อมูลที่จำเป็นจะต้องป้อนเพื่อจะนำไปใช้ในการคำนวณมีดังนี้ คือ

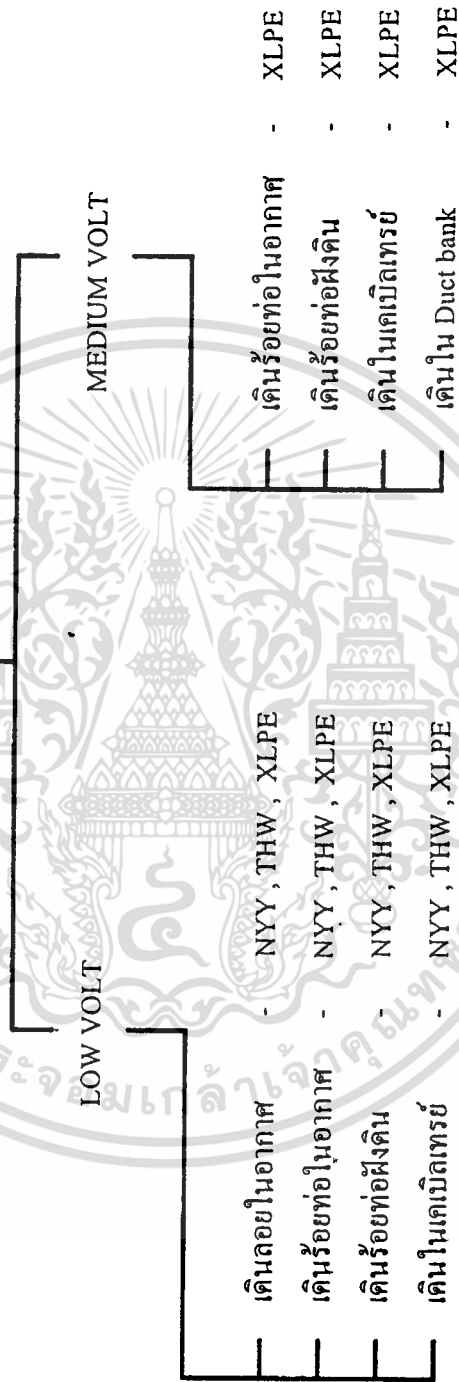
1. ระดับแรงดันที่ผู้ใช้ต้องการนำไปใช้งาน ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาที่ 2 ระดับด้วยกันคือ ระดับแรงดันต่ำ (Low volt) และระดับแรงดันปานกลาง (Medium volt)
2. ชนิดของสายเคเบิลที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งมี 3 ชนิดด้วยกัน คือ THW , NYY , XLPE
3. รูปแบบการติดตั้งสายเคเบิล โดยแบ่งเป็น เดินลอยในอากาศ , ร้อยท่อในอากาศ , ร้อยท่อฝังดิน , เดินใน Duct bank , เดินใน Cable tray
4. อุณหภูมิที่ใช้งานหรืออุณหภูมิสถานะแวดล้อม
5. จำนวนท่อที่ใช้งาน ในกรณีที่ดินร้อยท่อฝังดิน
6. จำนวนวงจรที่ติดตั้ง ในกรณีที่ดินเดินใน Duct Bank

เมื่อป้อนข้อมูลต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วและต้องการเริ่มการคำนวณ ให้ Click ที่ Menu Calc หรือ Icon Calc คอมพิวเตอร์ก็จะแสดงผลการคำนวณ

## 5.3 Flowchart Diagram ของการดำเนินงาน

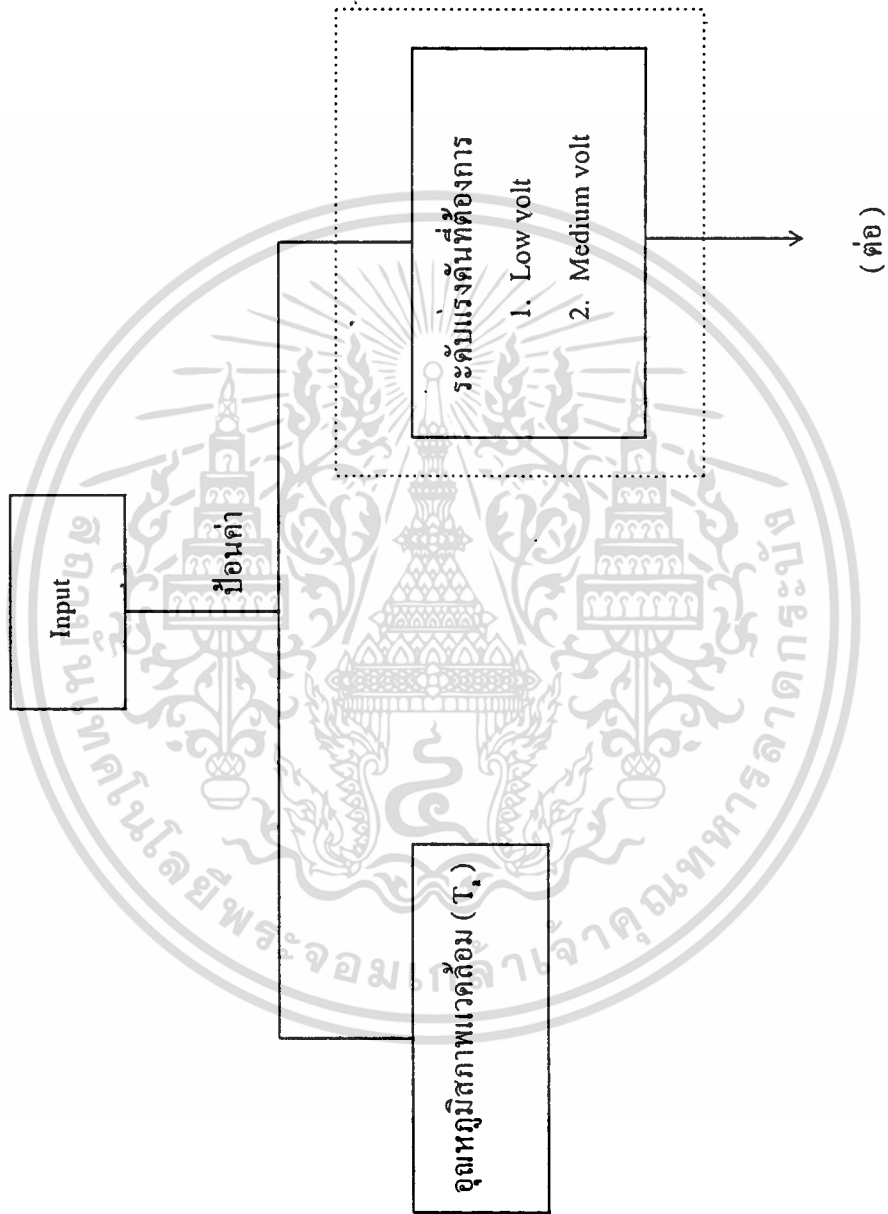
โครงการนี้ได้ทำการศึกษาถึงการนำไปโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาค่าพิสัยกระแสในสายเคเบิล ซึ่งการศึกษาข้อมูลของสายเคเบิล , การจำแนกการติดตั้ง รวมถึงขั้นตอนในการคำนวณสามารถแสดงเป็น Flowchart เพื่อช่วยให้เข้าใจได้มากขึ้นได้ดังรูปที่ 5.5 , รูปที่ 5.6 , รูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 ตามลำดับ

วิธีการเดินสายที่ทำการศึกษา

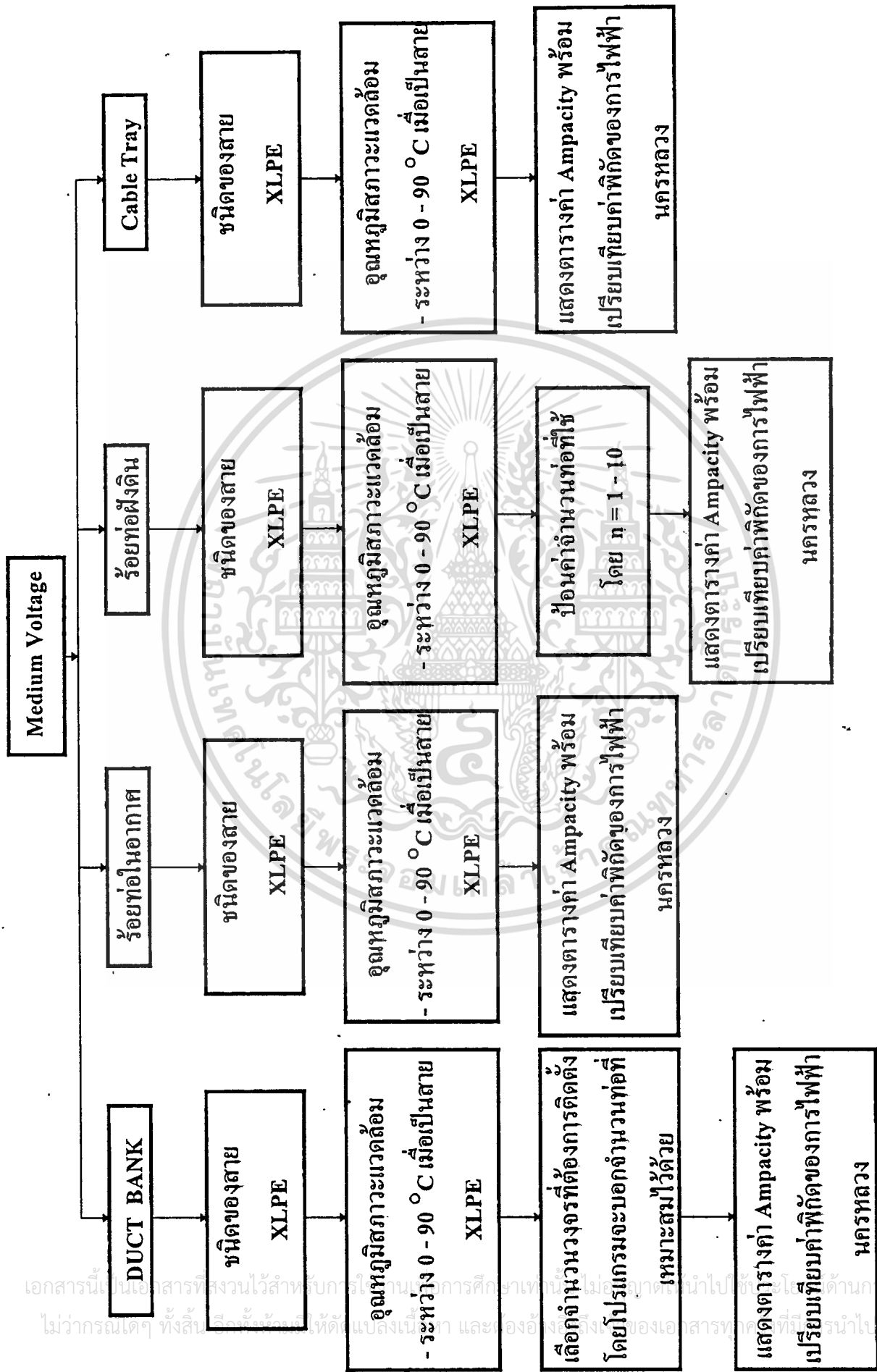


รูปที่ 5.5 แสดงขอบเขตของโครงการที่ศึกษา

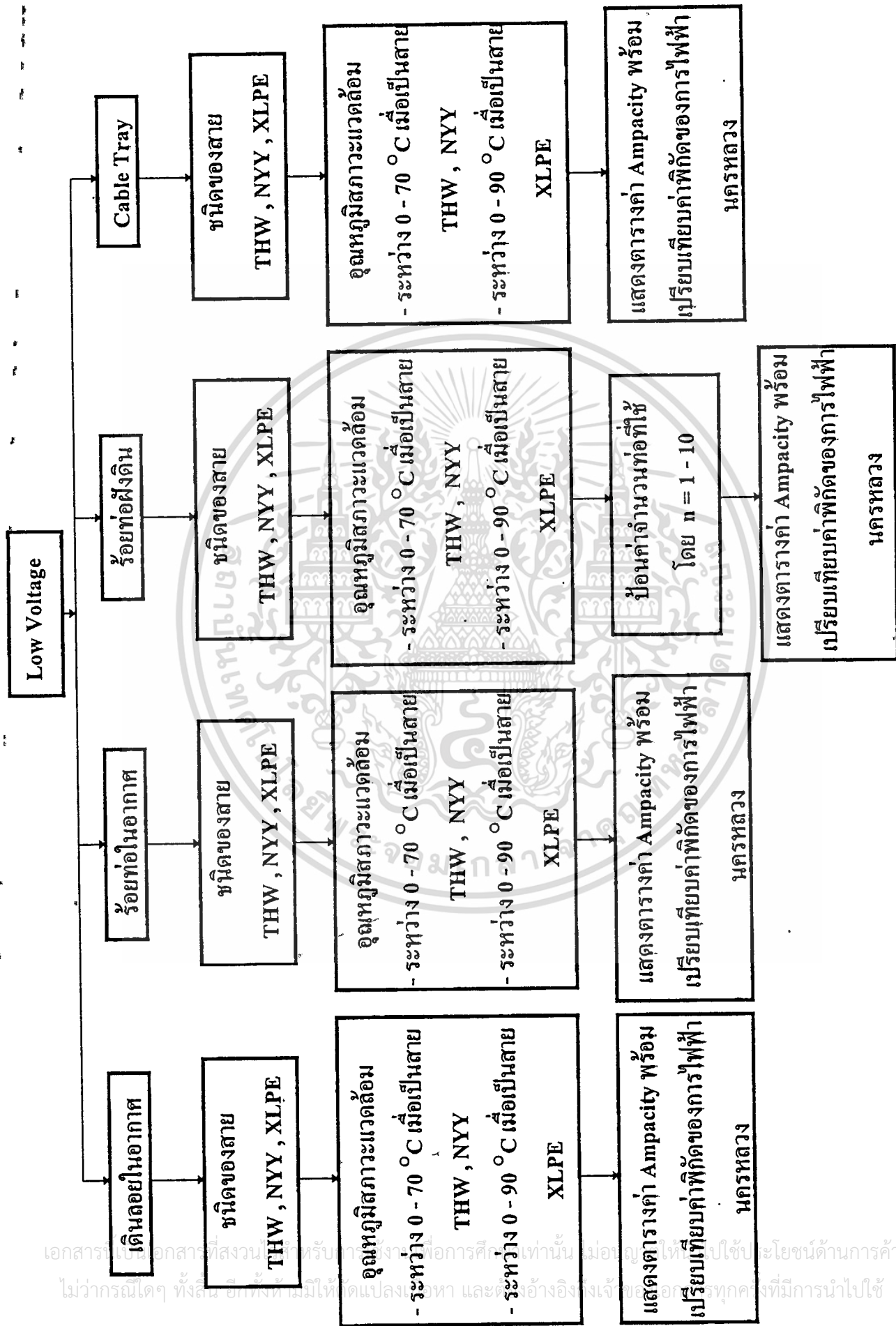
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดง Input ที่จำเป็นต้องให้ผู้ใช้ป้อนเมื่อเริ่มใช้งาน โปรแกรม



รูปที่ 5.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ระดับแรงดันปานกลาง



รูปที่ 5.8 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ระดับแรงดันต่ำ

## 5.4 ผลการคำนวณหาค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิล

### ระดับแรงดันต่ำ

#### 5.4.1 สาย THW

ขนาดของสาย	เดินลอยในอากาศที่อุณหภูมิ 40 °C	เดินร้อยท่อในอากาศที่อุณหภูมิ 40°C	เดินร้อยท่อฝังดินที่อุณหภูมิ 40°C
0.5	8.95	7.62	8.53
1.0	13.20	11.10	12.58
1.5	16.85	14.01	15.53
2.5	22.58	18.53	20.651
4	30.87	24.83	27.91
6	41.98	32.19	36.55
10	59.45	44.91	49.9
16	80.29	58.66	66.18
25	110.86	77.25	89.14
35	136.10	93.22	109.42
50	168.36	118.36	135.03
70	215.61	146.96	169.24
95	268.73	185.94	209.99
120	314.17	212.85	242.8
150	362.26	249.48	280.64
185	422.34	287.39	323.26
240	504.76	343.6	383.46
300	587.66	399.48	444.43
400	653.43	473.98	523.35
500	816.61	540.62	600.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4.2 สาย NYF

ขนาดของสาย	เดินลอยในอากาศที่ อุณหภูมิ 40°C	เดินร้อยท่อในอากาศ ที่อุณหภูมิ 40°C	เดินร้อยท่อฝังดินที่ อุณหภูมิ 40°C
1.0	17.616	9.988	12.16
1.5	22.155	12.443	15.109
2.5	29.216	16.656	20.316
4	38.412	22.195	26.93
6	50.828	29.611	35.587
10	69.144	41.086	49.258
16	91.14	55.229	65.633
25	121.87	75.141	89.181
35	149.83	93.9	110.18
50	178.13	115.74	134.91
70	229	146.03	169.6
95	280.45	184.71	212
120	329.81	216.42	245.86
150	381.82	256.8	289.53
185	439.78	296.44	333.72
240	523.65	356.63	396.16
300	610.9	414.6	458.2
400	717.72	486.88	535.67
500	814.26	556.21	607.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4.3 สาย XLPE

ขนาดของสาย	เดินลอยในอากาศ ที่อุณหภูมิ 40° C	เดินร้อยท่อในอากาศ ที่อุณหภูมิ 40° C	เดินร้อยท่อฝังดิน ที่อุณหภูมิ 40° C
2.5	35.18	26.31	28.99
4	46.7	34.51	38.60
6	59.88	42.78	49.08
10	80.6	56.89	66.07
16	107.19	74.36	85.86
25	147.25	97.28	112.84
35	178.38	116.97	139.12
50	216.87	148.60	170.5
70	276.25	181.44	212.31
95	248.74	231.40	263.59
120	407.96	266.20	305.4
150	470.39	313.37	349.04
185	552.28	361.63	404.26
240	664.37	437.36	482.11
300	765.95	504.42	572.67
400	910.8	603.18	681.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระดับแรงดันปานกลาง

### 5.4.4 สาย XLPE

ขนาดของสาย	เดินร้อยท่อในอากาศที่อุณหภูมิ 40°C	เดินร้อยท่อฝังดินที่อุณหภูมิ 40°C
35	147.71	161.71
50	174.51	193.09
70	213.18	238.18
95	264.81	291.25
120	301.20	333.03
150	345.92	383.47
185	395.37	433.95
240	477.11	522.21
300	548.16	600.48
400	637.39	689.41

ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่ากระแสที่อุณหภูมิสถานะแวดล้อม , รูปแบบการติดตั้ง , ชนิดของสายแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 5.9 และ 5.10

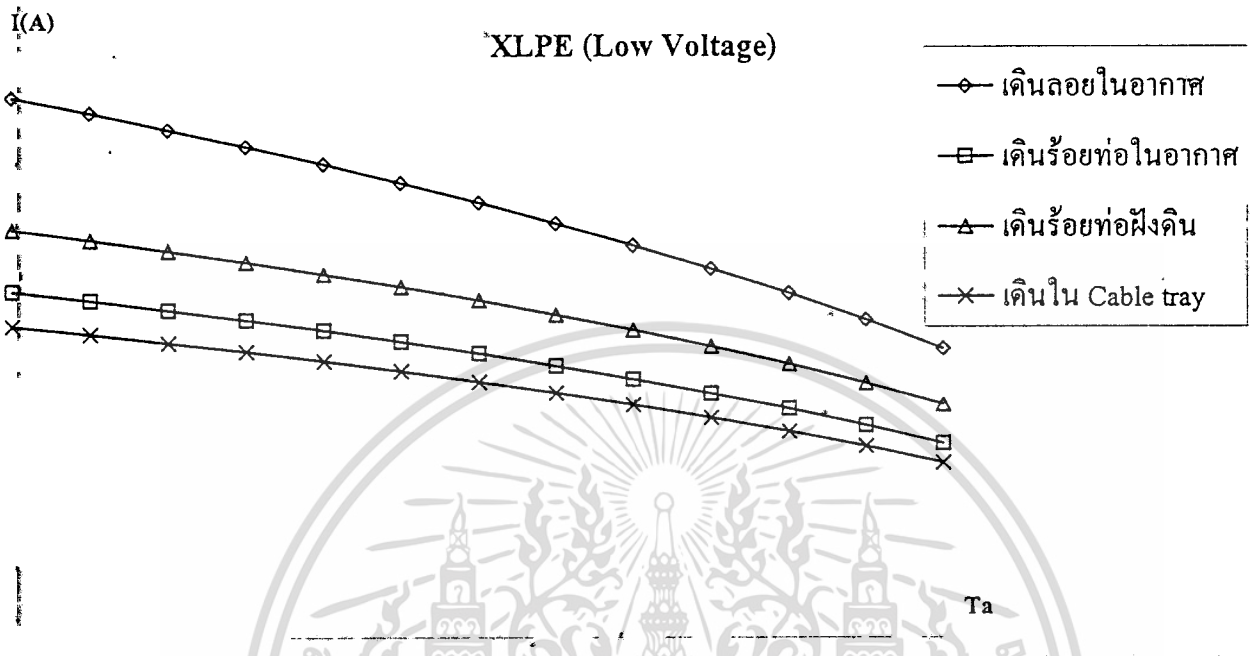
### 5.5 บทสรุปและวิจารณ์

ทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพิกัดกระแสของสายเคเบิลในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ยึดหลักตาม J.H. Neher และ M.H. McGrath ซึ่งเป็นทฤษฎีที่มีการนำพัฒนาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย จึงจะเห็นได้ว่า NEC ( National Electric Code ) ก็ได้นำเอาทฤษฎีนี้บรรจุไว้เป็นมาตรฐานในการคำนวณหาค่ากระแสของสายเคเบิล

ในส่วนของตัวโปรแกรมนั้น ได้เขียนขึ้นมาโดยใช้ โปรแกรม Delphi ซึ่งผู้จัดทำยังไม่มีควมชำนาญพอ จึงทำให้โปรแกรมบางส่วนยังมีข้อบกพร่องอยู่บ้าง ซึ่งควรได้รับการพัฒนาต่อไปเพื่อให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

จะสังเกตเห็นได้ว่า โปรแกรมการคำนวณหาค่าพิกัดกระแสในสายเคเบิลนี้เป็นโปรแกรมที่อำนวยความสะดวกในการพิจารณาหาพิกัดของกระแสเพื่อไปนำไปเลือกสายเคเบิลให้เหมาะสมกับ

เอกสารที่เรานำไปใช้งาน ดังนั้นผู้ใช้โปรแกรมจะต้องมีความรู้ทางด้านวิศวกรรมพอสมควร โดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสและอุณหภูมิสถานะแวดล้อมที่การติดตั้งต่าง ๆ



รูปที่ 5.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่ากระแสและอุณหภูมิสถานะแวดล้อมที่สายชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสายเคเบิล เนื่องจากผู้ใช้ต้องป้อนข้อมูลเกี่ยวกับสายเคเบิลก่อนที่จะนำไปคำนวณหาค่าพิกัดกระแส การเลือกสายเคเบิลควรจะต้องเลือกให้เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในระดับแรงดันและพิกัดกระแสที่ถูกต้อง เนื่องจากถ้าหากผิดพลาดอาจจะทำความเสียหายให้กับสายเคเบิลได้

สำหรับปริญญาโทฉบับนี้ จะไม่สมบูรณ์ขึ้นมาได้หากไม่ได้รับคำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา อย่างไรก็ตามยังมีจุดบกพร่องอยู่บ้าง ดังนั้นจึงควรได้รับการพัฒนาต่อไปสำหรับผู้สนใจศึกษาปริญญาโทฉบับนี้ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 1 Value of relative permittivity and loss factors for the insulation of high-voltage and medium-voltage cables at power frequency**

Type of cable	$\epsilon$	$\tan \delta^*$
<i>Cables insulated with impregnated paper</i>		
Solid type, fully-impregnated, pre-impregnated or mass-impregnated non-draining	4	0.01
Oil-filled, self-contained <sup>1)</sup> up to $U_0 = 36$ kV	3.5	0.0035
up to $U_0 = 87$ kV	3.5	0.0033
up to $U_0 = 160$ kV	3.5	0.0030
up to $U_0 = 220$ kV	3.5	0.0028
Oil-pressure, pipe-type <sup>2)</sup>	3.7	0.0045
External gas-pressure <sup>3)</sup>	3.6	0.0040
Internal gas-pressure <sup>4)</sup>	3.4	0.0045
<i>Cables with other kinds of insulation<sup>5)</sup></i>		
Butyl rubber	4	0.050
EPR	3	0.020
up to and including 18/30 (36) kV cables	3	0.005
greater than 18/30 (36) kV cables	3	0.005
PVC	3	0.1
PE (HD and LD)	2.3	0.001
XLPE		
up to and including 18/30 (36) kV cables (unfilled)	2.5	0.001
greater than 18/30 (36) kV cables (unfilled)	2.5	0.001
greater than 18/30 (36) kV cables (filled)	3.0	0.005

\* Safe values at maximum permissible temperature, applicable to the highest voltages normally specified for each type of cable.

- 1) See IEC 141-1.
- 2) See IEC 141-4.
- 3) See IEC 141-3.
- 4) See IEC 141-2.
- 5) See IEC 502.

NOTE - The dielectric loss should be taken into account for values of  $U_0$  equal to or greater than the following:

Type of cable	$U_0$ kV
<i>Cables insulated with impregnated paper</i>	
Solid-type	38
Oil-filled and gas-pressure	63.5
<i>Cables with other types of insulation</i>	
Butyl rubber	18
EPR	63.5
PVC	6
PE (HD and LD)	127
XLPE (unfilled)	127
XLPE (filled)	63.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดง Thermal Conductivities of common materials at about 30 °C

Thermal Conductivities of Common Materials at about 30 °C	
Material	k - W/m °C
Copper	380
Graphite	60
Solid	1.7-0.3(2.5-0.5) ธรรมดา
Concrete	1.2
Somastic	1
Glass	0.9
Trassite	0.5
Polyethylene	0.22-0.3, cross linked 0.25
Polyacrylonitrile	0.23
Fiber duct	0.21
Rubber	0.2
Jute and textiles	0.2
Paper	0.2-0.12
Water	0.25
Air	0.015

ตารางที่ 3 แสดง % Skin Effect ของ Solid Round Conductor และ Conventional Round Concentric Strand Conductors

r	1/3	1/2	2/3	1	4	5	6	7	8	9
0.1	0.50	0.60	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
0.2	0.61	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
0.3	0.72	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
0.4	0.84	0.97	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
0.5	0.97	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
0.6	1.11	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26
0.7	1.26	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42
0.8	1.42	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
0.9	1.59	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
1.0	1.77	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
1.1	1.96	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16	2.16
1.2	2.16	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37
1.3	2.37	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59	2.59
1.4	2.59	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82
1.5	2.82	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06	3.06
1.6	3.06	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31
1.7	3.31	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57	3.57
1.8	3.57	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84	3.84
1.9	3.84	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12
2.0	4.12	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41	4.41
2.1	4.41	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71	4.71
2.2	4.71	5.02	5.02	5.02	5.02	5.02	5.02	5.02	5.02	5.02
2.3	5.02	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34	5.34
2.4	5.34	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67	5.67
2.5	5.67	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01	6.01
2.6	6.01	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36	6.36
2.7	6.36	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72	6.72
2.8	6.72	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09	7.09
2.9	7.09	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47	7.47
3.0	7.47	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86	7.86
3.1	7.86	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26
3.2	8.26	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67	8.67
3.3	8.67	9.09	9.09	9.09	9.09	9.09	9.09	9.09	9.09	9.09
3.4	9.09	9.52	9.52	9.52	9.52	9.52	9.52	9.52	9.52	9.52
3.5	9.52	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96	9.96
3.6	9.96	10.41	10.41	10.41	10.41	10.41	10.41	10.41	10.41	10.41
3.7	10.41	10.87	10.87	10.87	10.87	10.87	10.87	10.87	10.87	10.87
3.8	10.87	11.34	11.34	11.34	11.34	11.34	11.34	11.34	11.34	11.34
3.9	11.34	11.82	11.82	11.82	11.82	11.82	11.82	11.82	11.82	11.82
4.0	11.82	12.31	12.31	12.31	12.31	12.31	12.31	12.31	12.31	12.31
4.1	12.31	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81	12.81
4.2	12.81	13.32	13.32	13.32	13.32	13.32	13.32	13.32	13.32	13.32
4.3	13.32	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84	13.84
4.4	13.84	14.37	14.37	14.37	14.37	14.37	14.37	14.37	14.37	14.37
4.5	14.37	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91	14.91
4.6	14.91	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46	15.46
4.7	15.46	16.02	16.02	16.02	16.02	16.02	16.02	16.02	16.02	16.02
4.8	16.02	16.59	16.59	16.59	16.59	16.59	16.59	16.59	16.59	16.59
4.9	16.59	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17	17.17
5.0	17.17	17.76	17.76	17.76	17.76	17.76	17.76	17.76	17.76	17.76
5.1	17.76	18.36	18.36	18.36	18.36	18.36	18.36	18.36	18.36	18.36
5.2	18.36	18.97	18.97	18.97	18.97	18.97	18.97	18.97	18.97	18.97
5.3	18.97	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59	19.59
5.4	19.59	20.22	20.22	20.22	20.22	20.22	20.22	20.22	20.22	20.22
5.5	20.22	20.86	20.86	20.86	20.86	20.86	20.86	20.86	20.86	20.86
5.6	20.86	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51	21.51
5.7	21.51	22.17	22.17	22.17	22.17	22.17	22.17	22.17	22.17	22.17
5.8	22.17	22.84	22.84	22.84	22.84	22.84	22.84	22.84	22.84	22.84
5.9	22.84	23.52	23.52	23.52	23.52	23.52	23.52	23.52	23.52	23.52
6.0	23.52	24.21	24.21	24.21	24.21	24.21	24.21	24.21	24.21	24.21
6.1	24.21	24.91	24.91	24.91	24.91	24.91	24.91	24.91	24.91	24.91
6.2	24.91	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62	25.62
6.3	25.62	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34	26.34
6.4	26.34	27.07	27.07	27.07	27.07	27.07	27.07	27.07	27.07	27.07
6.5	27.07	27.81	27.81	27.81	27.81	27.81	27.81	27.81	27.81	27.81
6.6	27.81	28.56	28.56	28.56	28.56	28.56	28.56	28.56	28.56	28.56
6.7	28.56	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32	29.32
6.8	29.32	30.09	30.09	30.09	30.09	30.09	30.09	30.09	30.09	30.09
6.9	30.09	30.87	30.87	30.87	30.87	30.87	30.87	30.87	30.87	30.87
7.0	30.87	31.66	31.66	31.66	31.66	31.66	31.66	31.66	31.66	31.66
7.1	31.66	32.46	32.46	32.46	32.46	32.46	32.46	32.46	32.46	32.46
7.2	32.46	33.27	33.27	33.27	33.27	33.27	33.27	33.27	33.27	33.27
7.3	33.27	34.09	34.09	34.09	34.09	34.09	34.09	34.09	34.09	34.09
7.4	34.09	34.92	34.92	34.92	34.92	34.92	34.92	34.92	34.92	34.92
7.5	34.92	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76	35.76
7.6	35.76	36.61	36.61	36.61	36.61	36.61	36.61	36.61	36.61	36.61
7.7	36.61	37.47	37.47	37.47	37.47	37.47	37.47	37.47	37.47	37.47
7.8	37.47	38.34	38.34	38.34	38.34	38.34	38.34	38.34	38.34	38.34
7.9	38.34	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22	39.22
8.0	39.22	40.11	40.11	40.11	40.11	40.11	40.11	40.11	40.11	40.11
8.1	40.11	41.01	41.01	41.01	41.01	41.01	41.01	41.01	41.01	41.01
8.2	41.01	41.92	41.92	41.92	41.92	41.92	41.92	41.92	41.92	41.92
8.3	41.92	42.84	42.84	42.84	42.84	42.84	42.84	42.84	42.84	42.84
8.4	42.84	43.77	43.77	43.77	43.77	43.77	43.77	43.77	43.77	43.77
8.5	43.77	44.71	44.71	44.71	44.71	44.71	44.71	44.71	44.71	44.71
8.6	44.71	45.66	45.66	45.66	45.66	45.66	45.66	45.66	45.66	45.66
8.7	45.66	46.62	46.62	46.62	46.62	46.62	46.62	46.62	46.62	46.62
8.8	46.62	47.59	47.59	47.59	47.59	47.59	47.59	47.59	47.59	47.59
8.9	47.59	48.57	48.57	48.57	48.57	48.57	48.57	48.57	48.57	48.57
9.0	48.57	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56	49.56
9.1	49.56	50.56	50.56	50.56	50.56	50.56	50.56	50.56	50.56	50.56
9.2	50.56	51.57	51.57	51.57	51.57	51.57	51.57	51.57	51.57	51.57
9.3	51.57	52.59	52.59	52.59	52.59	52.59	52.59	52.59	52.59	52.59
9.4	52.59	53.62	53.62	53.62	53.62	53.62	53.62	53.62	53.62	53.62
9.5	53.62	54.66	54.66	54.66	54.66	54.66	54.66	54.66	54.66	54.66
9.6	54.66	55.71	55.71	55.71	55.71	55.71	55.71	55.71	55.71	55.71
9.7	55.71	56.77	56.77	56.77	56.77	56.77	56.77	56.77	56.77	56.77
9.8	56.77	57.84	57.84	57.84	57.84	57.84	57.84	57.84	57.84	57.84
9.9	57.84	58.92	58.92	58.92	58.92	58.92	58.92	58.92	58.92	58.92
10.0	58.92	60.01	60.01	60.01	60.01	60.01	60.01	60.01	60.01	60.01

ตารางที่ 4 แสดงค่า  $k$ , และ  $k_p$  สำหรับตัวนำแบบต่าง ๆ

Conductor Construction	Coating on Strands	Treatment	$k$	$k_p$
Concentric round.....	None.....	None.....	1	1.0
Concentric round.....	Tin or alloy.....	None.....	1	1.0
Concentric round.....	None.....	Yes.....	1	0.90
Compact round.....	None.....	Yes.....	1	0.9
Compact segmental.....	None.....	None.....	0.85	0.4
Compact segmental.....	Tin or alloy.....	None.....	0.8	0.7
Compact segmental.....	None.....	Yes.....	0.85	0.87
Compact sector.....	None.....	Yes.....	1	(see note)

ตารางที่ 5 แสดงค่าคงที่  $A, B, C, A', B'$

(Constants for Use in Equations 41 and 41(A))

Condition	A	B	C	A'	B'
In metallic conduit.....	17	2.9	0.057	3.2	0.19
In fiber duct in air.....	17	2.1	0.016	3.6	0.25
In fiber duct in concrete.....	17	2.2	0.024	4.3	0.37
In traverse duct in air.....	17	2.0	0.014	4.4	0.26
In traverse duct in concrete.....	17	2.0	0.015	3.7	0.21
Gas-filled pipe cable at 200 psi.....	3.1	1.15	0.0043	2.1	0.13
Oil-filled pipe cable.....	0.34	0	0.0043	2.1	0.16

$D$  = 1.27 X diameter of cable for one cable  
 1.53 X diameter of cable for two cables  
 2.15 X diameter of cable for three cables  
 2.50 X diameter of cable for four cables

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนแกนเดียว แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 750 โวลต์

พื้นที่หน้าตัด รวม	จำนวนและ เส้นผ่านศูนย์กลาง ของเส้นลวดในหุ้ม เส้น/มิลลิเมตร	จำนวน ของฉนวน มิลลิเมตร	เส้นผ่านศูนย์กลาง ของสายไฟฟ้า มิลลิเมตร	ความต้านทานยกเว้น ที่ 70 องศาเซลเซียส ค่าสุด เมกะโห์มกิโลเมตร
0.5	1/0.80	0.8	3.0	0.017 5
1	1/1.13	0.8	3.3	0.014 1
1	7/0.40	0.8	3.5	0.013 5
1.5	1/1.38	0.8	3.6	0.012 3
1.5	7/0.50	0.8	3.8	0.011 5
2.5	1/1.78	0.8	4.0	0.010 2
2.5	7/0.67	0.8	4.3	0.009 3
4	1/2.25	0.9	4.8	0.009 4
4	7/0.85	0.9	5.2	0.008 5
6	7/1.04	0.9	5.8	0.007 3
10	7/1.35	1.1	7.2	0.006 9
16	7/1.70	1.1	8.4	0.005 7
25	7/2.14	1.3	10.5	0.005 4
35	19/1.53	1.3	11.5	0.004 7
50	19/1.78	1.5	13.5	0.004 5
70	19/2.14	1.5	15.5	0.004 3
95	19/2.52	1.7	18.0	0.003 3
120	37/2.03	1.7	19.5	0.003 4
150	37/2.25	1.9	21.5	0.003 3
185	37/2.52	2.1	24.0	0.003 4
240	61/2.25	2.3	27.0	0.003 3
300	61/2.52	2.5	30.0	0.003 2
400	61/2.85	2.7	33.5	0.003 0
500	61/3.20	3.1	38.0	0.003 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนและเปลือกแกนเดียว แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 750 โวลต์

พื้นที่ติดตั้ง	จำนวนและ เส้นผ่าศูนย์กลาง ทองเส้นลวดในหน้า เส้น/มิลลิเมตร	ความหนา รองฉนวน มิลลิเมตร	ความหนา รองเปลือก มิลลิเมตร	เส้นผ่า ศูนย์กลาง ของสายไฟฟ้า มิลลิเมตร	ความค้ำพองของขนาด ที่ 70 องศาเซลเซียส ค่าคูณ เมตร/ไมล์กิกะเมตร
1	1/1.13	1.5	1.8	8.5	0.020 7
1	7/0.40	1.5	1.8	4.8	0.022 3
1.5	1/1.38	1.5	1.8	9.0	0.019 1
1.5	7/0.50	1.5	1.8	4.8	0.017 5
2.5	1/1.74	1.5	1.8	10.5	0.015 7
2.5	7/0.67	1.5	1.8	4.8	0.011 6
4	1/2.25	1.5	1.8	10.5	0.013 6
4	7/0.85	1.5	1.8	10.5	0.012 4
6	7/1.04	1.5	1.8	11.0	0.010 7
10	7/1.35	1.5	1.8	12.0	0.008 8
16	7/1.70	1.5	1.8	13.0	0.007 4
25	7/2.14	1.5	1.8	14.5	0.006 1
35	10/1.53	1.5	1.8	15.0	0.005 7
50	10/1.76	1.5	1.8	17.0	0.004 6
70	10/2.14	1.5	1.8	19.0	0.003 9
95	19/2.52	1.7	1.8	21.5	0.003 8
120	37/2.03	1.7	1.8	23.0	0.003 4
150	37/2.25	1.9	2.0	25.0	0.003 4
185	37/2.52	2.1	2.0	29.0	0.003 4
240	61/2.25	2.3	2.2	31.5	0.003 3
300	61/2.52	2.5	2.2	35.0	0.003 2
400	61/2.85	2.7	2.2	38.5	0.003 0
500	61/3.20	3.1	2.4	43.0	0.003 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 สายไฟฟ้าหุ้มด้วยฉนวนเปลือกอินและเปลือกนอกหลายแกน แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด 750 โวลต์

ชนิดนำไฟฟ้า รวม	จำนวนและ เส้นผ่าศูนย์กลาง ของเส้นลวดในฉนวน	ความหนา ของฉนวน	ความหนา ของเปลือกอิน			ความหนา ของเปลือกนอก			เส้นผ่าศูนย์กลาง ของสายไฟฟ้า			ความต้านทานของฉนวน ที่ 70 องศาเซลเซียส ค่าต่อ เมตรโดยเฉลี่ย	
			มิลลิเมตร	2 แกน	3 แกน	4 แกน	2 แกน	3 แกน	4 แกน	2 แกน	3 แกน		4 แกน
1	1/1.13	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.3	1.8	12.0	12.5	13.5	0.014	
1	7/0.40	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.3	1.8	12.5	13.0	14.0	0.013	
1.5	1/1.38	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.3	1.8	12.5	13.0	14.0	0.012	
1.5	7/0.50	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.3	1.8	13.0	13.5	14.5	0.011	
2.5	1/1.78	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.3	1.8	13.5	14.0	15.0	0.010	
2.5	7/0.67	0.8	0.8	0.8	0.8	1.2	1.3	1.8	14.0	15.0	16.0	0.009	
4	1/2.25	0.9	0.8	0.8	0.8	1.2	1.3	1.8	15.0	15.5	17.0	0.009	
4	7/0.85	0.9	0.8	0.8	0.8	1.2	1.3	1.8	15.5	16.5	17.5	0.008	
6	7/1.04	0.9	0.8	0.8	0.8	1.2	1.3	1.8	17.0	18.0	19.0	0.007	
10	7/1.35	1.1	0.8	0.8	0.8	1.2	1.3	1.8	2.0	19.5	20.5	23.0	0.006
16	7/1.70	1.1	0.8	1.2	1.2	2.0	2.0	2.0	22.5	24.5	26.5	0.005	
25	7/2.14	1.3	1.2	1.2	1.2	2.0	2.0	2.0	27.0	29.5	31.0	0.005	
35	19/1.53	1.3	1.2	1.2	1.5	2.0	2.0	2.2	29.5	31.5	35.0	0.004	
50	19/1.78	1.5	1.2	1.5	1.5	2.2	2.2	2.2	32.5	36.0	39.5	0.004	
75	19/2.14	1.5	1.5	1.5	1.5	2.2	2.2	2.4	38.0	40.5	44.5	0.003	
95	19/2.52	1.7	1.5	1.5	1.8	2.2	2.4	2.6	42.5	46.0	51.5	0.003	
120	37/2.03	1.7	1.5	1.8	1.8	2.4	2.6	2.8	46.5	50.5	56.0	0.003	
150	37/2.25	1.9	1.8	1.8	2.0	2.6	2.8	3.0	52.0	56.0	62.0	0.003	
125	37/2.52	2.1	1.8	2.0	2.0	2.8	3.0	3.2	57.0	61.5	68.0	0.003	
240	61/2.25	2.3	2.0	2.0	2.2	3.0	3.2	3.4	64.0	69.0	76.5	0.003	
300	61/2.52	2.5	2.0	2.2	2.2	3.2	3.4	3.8	70.5	76.0	85.0	0.003	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XLPE INSULATED PVC JACKETED POWER CABLE —  
SINGLE-CORE



REFERENCES

- 1. Copper Conductor
- 2. Separator Tape
- 3. XLPE Insulation
- 4. Separator Tape
- 5. PVC Jacket

APPLICATION

For general purpose power distribution in wet or dry locations, installed in air, in conduit or duct, or directly buried.

No. of Cores	Conductor			Nominal Thickness		Approx. OD mm
	Size mm <sup>2</sup>	Strands	Approx. OD mm	Insulation mm	Jacket mm	
1	2.5	7/0.67	2.0	0.7	1.4	7.0
	4	7/0.85	2.6	0.7	1.4	7.5
	6	7/1.04	3.1	0.7	1.4	8.0
	10	7	3.8	0.7	1.4	8.6
	16	7	4.8	0.7	1.4	9.6
	25	7	6.0	0.7	1.4	11.5
	35	7	7.0	0.9	1.4	12.5
	50	19	8.3	1.0	1.4	14.0
	70	19	9.9	1.1	1.4	15.5
	95	19	11.7	1.1	1.5	18.0
	120	37	13.2	1.2	1.5	19.5
	150	37	14.6	1.4	1.6	22
	185	37	16.3	1.6	1.6	24
	240	61	18.7	1.7	1.7	27
	300	61	20.9	1.8	1.8	29
400	61	23.6	2.0	1.9	33	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัท ไทย ยะซากิ จำกัด ไม่อนุญาตให้คัดลอกหรือใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำ เผยแพร่ หรือใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
Data subject to change without notice.

**XLPE INSULATED PVC JACKETED POWER CABLE  
SINGLE-CORE**

**CONSTRUCTION**

- Conductor : Stranded copper
- Insulation : Cross-linked polyethylene [XLPE]
- Jacket : Polyvinyl chloride [PVC]

**FEATURES**

Provides excellent thermal and physical properties, outstanding resistance to moisture and chemicals.

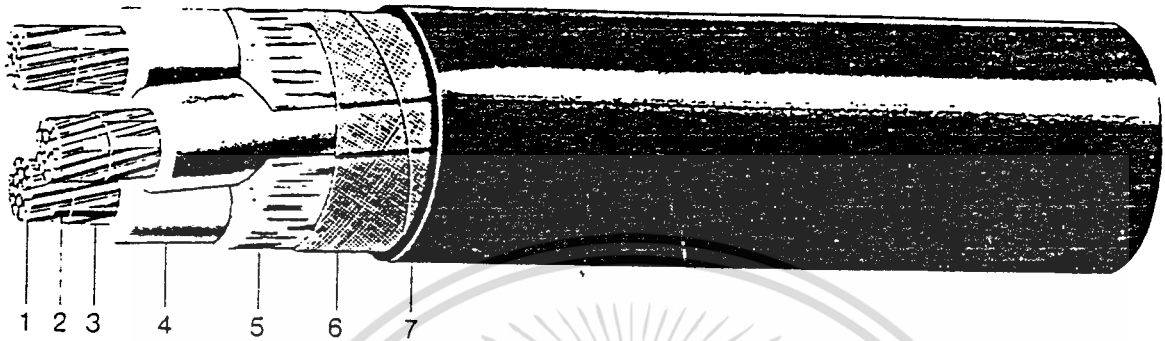
CONDUCTOR TEMPERATURE: 90°C

No. of Cores	Conductor		Test Voltage kV	Approx. Net Weight kg/km
	Size mm <sup>2</sup>	Resistance at 20°C Maximum Ω/km		
1	2.5	7.41	3.5	65
	4	4.61	3.5	80
	6	3.08	3.5	100
	10	1.83	3.5	140
	16	1.15	3.5	200
	25	0.727	3.5	300
	35	0.524	3.5	400
	50	0.387	3.5	500
	70	0.268	3.5	750
	95	0.193	3.5	1000
	120	0.153	3.5	1200
	150	0.124	3.5	1500
	185	0.0991	3.5	1900
	240	0.0754	3.5	2500
	300	0.0601	3.5	3100
	400	0.0470	3.5	3900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และข้อมูลอาจมีการเปลี่ยนแปลงโดยไม่另行通知ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ลิขสิทธิ์และข้อมูลนี้สงวนไว้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XLPE INSULATED PVC JACKETED POWER CABLE  
3-CORE



REFERENCES

- 1. Copper Conductor
- 2. Circuit Identification Tape
- 3. Separator Tape
- 4. XLPE Insulation
- 5. Fillers
- 6. Binding Tape
- 7. PVC Jacket

APPLICATION

For general purpose power distribution in wet or dry locations, installed in air, in conduit or duct, or directly buried.

No. of Cores	Conductor			Nominal Thickness		Approx. OD mm
	Size mm <sup>2</sup>	Strands	Approx. OD mm	Insulation mm	Jacket mm	
3	2.5	7/0.67	2.0	0.7	1.8	12.5
	4	7/0.85	2.6	0.7	1.8	13.5
	6	7/1.04	3.1	0.7	1.8	14.5
	10	7	3.8	0.7	1.8	16.0
	16	7	4.8	0.7	1.8	18.0
	25	7	6.0	0.9	1.8	22
	35	7	7.0	0.9	1.8	24
	50	19	8.3	1.0	1.8	27
	70	19	9.9	1.1	1.9	31
	95	19	11.7	1.1	2.0	35
	120	37	13.2	1.2	2.1	39
	150	37	14.6	1.4	2.3	44
	185	37	16.3	1.6	2.4	49
	240	61	18.7	1.7	2.6	55
	300	61	20.9	1.8	2.8	60
	400	61	23.6	2.0	3.1	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น โปรดดูให้แน่ใจก่อนนำไปใช้  
 ไม่รับประกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ลอกเลียนแบบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 Data subject to change without notice.

**XLPE INSULATED PVC JACKETED POWER CABLE**
**3-CORE**
**CONSTRUCTION**

- Conductor : Stranded copper
- Insulation : Cross-linked polyethylene [XLPE]
- Jacket : Polyvinyl chloride [PVC]

**FEATURES**

Provides excellent thermal and physical properties. outstanding resistance to moisture and chemicals.

**CONDUCTOR TEMPERATURE: 90°C**

No. of Cores	Conductor		Test Voltage kV	Approx. Net Weight kg/km
	Size mm <sup>2</sup>	Resistance at 20°C Maximum Ω/km		
3	2.5	7.41	3.5	190
	4	4.61	3.5	250
	6	3.08	3.5	320
	10	1.83	3.5	440
	16	1.15	3.5	650
	25	0.727	3.5	950
	35	0.524	3.5	1300
	50	0.387	3.5	1700
	70	0.268	3.5	2300
	95	0.193	3.5	3100
	120	0.153	3.5	3900
	150	0.124	3.5	4900
	185	0.0991	3.5	6000
	240	0.0754	3.5	8000
	300	0.0601	3.5	9500
400	0.0470	3.5	12500	

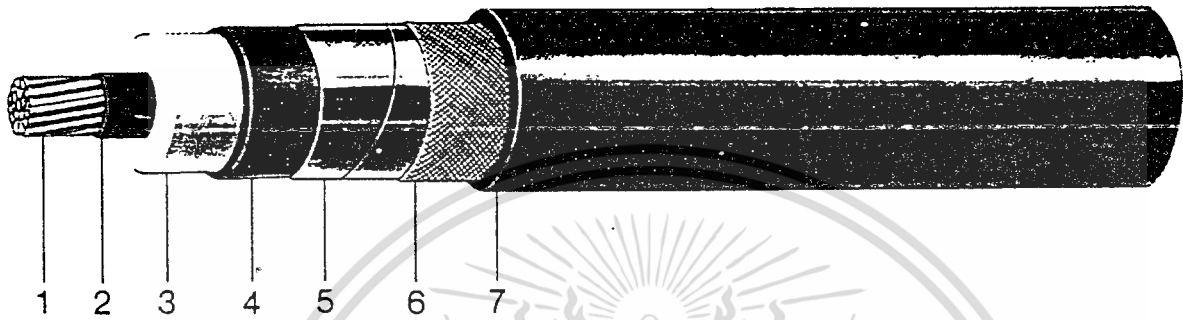
เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับใช้งานที่ 3.5 kV ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
Data subject to change without notice.

**12/20(24) KV CV**

**IEC 502**

**XLPE INSULATED PVC JACKETED POWER CABLE  
SINGLE-CORE**



**REFERENCES**

- 1. Conductor
- 2. Extruded Conductor Shield
- 3. XLPE Insulation
- 4. Extruded Insulation Shield (Free Stripping Type)
- 5. Copper Shield Tape
- 6. Separator Tape
- 7. PVC Jacket

**APPLICATION**

For general purpose power distribution and transmission in wet or dry locations, installed in air, in conduit or duct, or directly buried.

No. of Cores	Conductor		Nominal Thickness			Approx. OD
	Size mm <sup>2</sup>	No. of Strands	Approx. OD mm	Insulation mm	Jacket mm	
1	35	7	7.0	5.5	1.8	26
	50	19	8.3	5.5	1.8	27
	70	19	9.9	5.5	1.8	23
	95	19	11.7	5.5	1.9	31
	120	37	13.2	5.5	2.0	33
	150	37	14.6	5.5	2.0	34
	185	37	16.3	5.5	2.1	36
	240	61	18.7	5.5	2.1	38
	300	61	20.9	5.5	2.2	41
	400	61	23.6	5.5	2.3	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**XLPE INSULATED PVC JACKETED POWER CABLE  
SINGLE-CORE**

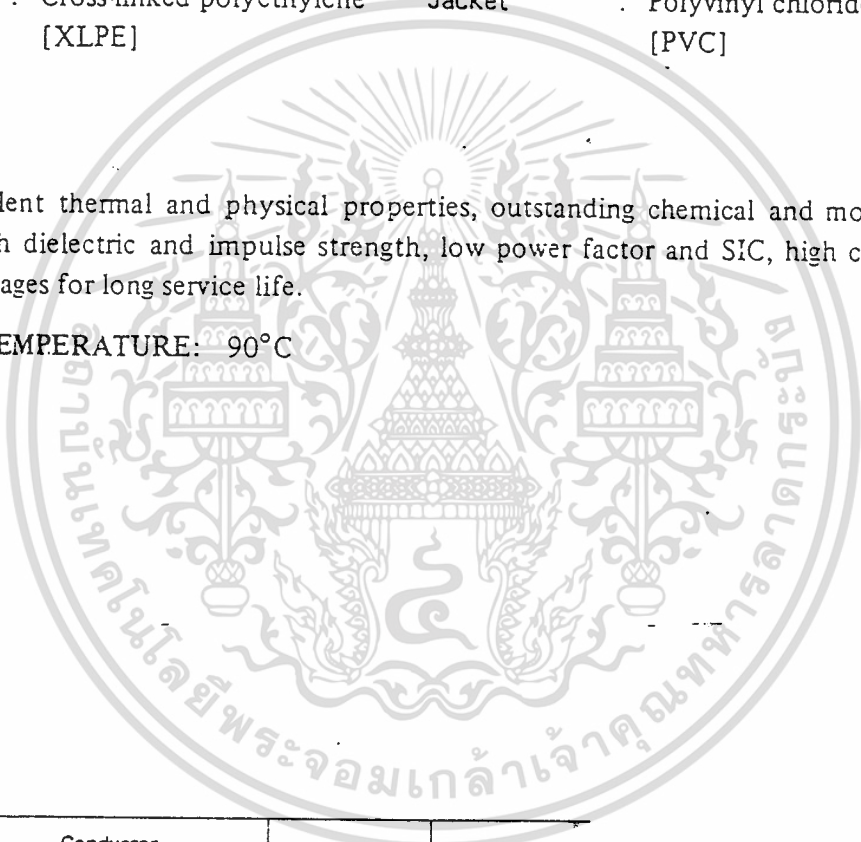
**CONSTRUCTION**

Conductor	: Stranded copper	Insulation	: Extruded semiconducting material
Conductor Shield	: Extruded semiconducting material	Metal Shield	: Helically applied copper tape
Insulation	: Cross-linked polyethylene [XLPE]	Jacket	: Polyvinyl chloride [PVC]

**FEATURES**

Provides excellent thermal and physical properties, outstanding chemical and moisture resistance, high dielectric and impulse strength, low power factor and SIC, high corona extinction voltages for long service life.

CONDUCTOR TEMPERATURE: 90°C

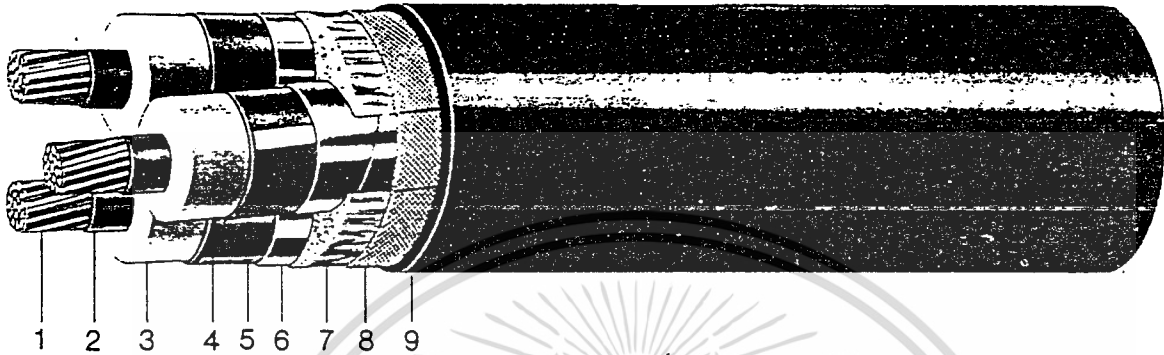


No. of Cores	Conductor		Test Voltage kV	Approx. Net Weight kg/km
	Size mm <sup>2</sup>	Resistance at 20°C Maximum Ω/km		
1	35	0.524	30.0	850
	50	0.387	30.0	1000
	70	0.268	30.0	1300
	95	0.193	30.0	1600
	120	0.153	30.0	1900
	150	0.124	30.0	2200
	185	0.0991	30.0	2600
	240	0.0754	30.0	3200
	300	0.0601	30.0	3800
	400	0.0470	30.0	4700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์ กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ Data subject to change without notice. ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**XLPE INSULATED PVC JACKETED POWER CABLE  
3-CORE**



**REFERENCES**

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| 1. Conductor   | 5. Circuit Identification Tape |
| 2. Extruded Conductor Shield                           | 6. Copper Shield Tape          |
| 3. XLPE Insulation                                     | 7. Fillers                     |
| 4. Extruded Insulation Shield<br>(Free Stripping Type) | 8. Binding Tape                |
|  | 9. PVC Jacket                  |

**APPLICATION**

For general purpose power distribution and transmission in wet or dry locations, installed in air, in conduit or duct, or directly buried.

No. of Cores	Conductor			Nominal Thickness		Approx. OD mm
	Size mm <sup>2</sup>	No. of Strands	Approx. OD mm	Insulation mm	Jacket mm	
3	35	7	7.0	5.5	2.7	52
	50	19	8.3	5.5	2.8	55
	70	19	9.9	5.5	2.9	59
	95	19	11.7	5.5	3.0	63
	120	37	13.2	5.5	3.1	67
	150	37	14.6	5.5	3.2	71
	185	37	16.3	5.5	3.3	75
	240	61	18.7	5.5	3.5	80
	300	61	20.9	5.5	3.7	85
	400	61	23.6	5.5	3.9	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเชิงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Data subject to change without notice.

12/20(24) KV CV

IEC 502

XLPE INSULATED PVC JACKETED POWER CABLE  
3-CORE

CONSTRUCTION

Conductor	: Stranded copper	Insulation	: Extruded semiconducting material
Shield	: Extruded semiconducting material	Metal Shield	: Helically applied copper tape
Insulation	: Cross-linked polyethylene [XLPE]	Jacket	: Polyvinyl chloride [PVC]

FEATURES

Provides excellent thermal and physical properties, outstanding chemical and moisture resistance, high dielectric and impulse strength, low power factor and SIC, high corona extinction voltages for long service life.

CONDUCTOR TEMPERATURE: 90°C

No. of Cores	Conductor		Test Voltage kV	Approx. Net Weight kg/km
	Size mm <sup>2</sup>	Resistance at 20°C Maximum Ω/km		
3	35	0.524	30.0	3000
	50	0.387	30.0	3500
	70	0.268	30.0	4300
	95	0.193	30.0	5500
	120	0.153	30.0	6500
	150	0.124	30.0	7500
	185	0.0991	30.0	8500
	240	0.0754	30.0	10500
	300	0.0601	30.0	12500
	400	0.0470	30.0	15500

ไม่ว่ากรณีใดๆ Data subject to change without notice. ขอสงวนสิทธิ์ในเอกสารนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์สุดี บรรจงจิตร และ อาจารย์ชาย ชมภูอินไหว ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำโครงการครั้งนี้ ขอขอบคุณการไฟฟ้านครหลวงเขตคลองเตยที่กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับการติดตั้งสายเคเบิล พร้อมทั้งให้คำแนะนำต่าง ๆ มากมายที่เป็นประโยชน์อย่างมากกับโครงการนี้ และที่สำคัญคือน้อง ๆ ทุกคนที่มีส่วนช่วยเหลืออย่างยิ่งในการทำโครงการไม่ว่าจะเป็น ช่วยพิมพ์ข้อมูล , ช่วยซ่อมเครื่องคอมพิวเตอร์ , ช่วยคำนวณ , ช่วยสแกนภาพต่าง ๆ และคอยเป็นกำลังใจให้ นอกจากนี้ยังมีอีกหลายท่านที่ไม่สามารถจะกล่าวถึงได้หมดในที่นี่ คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านที่มีอุปการะคุณ ทำให้โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

- [1] J.H. Neher and M.H. McGrath, The calculation of the temperature rise and load capability of cable system , AIEE Trans , part III , vol.76 , pp.752-772 , Oct 1957
- [2] Thai Yazaki , Technical information and specification for electric wires and cables , Thai Yazaki publicaton , Oct 1991
- [3] Thai Yazaki , Technical information and specification for XLPE power cable, Thai Yazaki publication , Oct 1991
- [4] การไฟฟ้านครหลวง , กฎการเดินสายและติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า พ.ศ. 2538, พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ , 2539
- [5] IEC , Electrical cables-Calculation of the current rating-Part I, IEC 287-1-1
- [6] กระทรวงอุตสาหกรรม , มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มด้วยโพลีไวนิลคลอไรด์ , มอก 11-2531
- [7] IEEE, IEEE Recommended Practice for electric Power Systems in Commercial Building , IEEE Std 241-1990
- [8] การไฟฟ้านครหลวง , คำแนะนำการติดตั้งระบบสายไฟฟ้าใต้ดินในพื้นที่จัดสรร , กรุงเทพฯ 2539
- [9] สุทธิ บรรจงจิตร , หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง , บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด ( มหาชน )
- [10] การไฟฟ้านครหลวง , Underground Construction Standards , กรุงเทพฯ

## คณะผู้จัดทำ



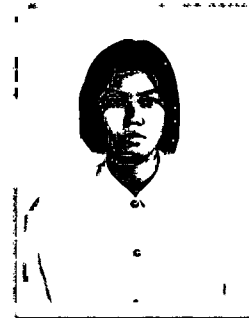
นายนิธวิญ จารูวาทิ  
ที่อยู่ ซ. พระยาดำรงค์ ถ. พระราม 4  
บางรัก กรุงเทพฯ 10500  
โทร. 2357113



นางสาวธิดา วรรณสุริยวงศ์  
ที่อยู่ 38/1 หมู่ 4 ต.พระประโทน อ.เมือง  
จ.นครปฐม 73000  
โทร. (034)258497



นางสาวมยุรา วัฒนานนท์  
ที่อยู่ 4/2 ซ. แสงมิตร ถ.ศรีสุข อ.เมือง  
จ.อุตรธานี 41000  
โทร. (042)245317



นางสาววารินทร์ วงศ์ศรีรัตนชัย  
ที่อยู่ 65/16 ซ. วัดสังข์กระจาย แขวงทอพระ  
เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600  
โทร 4659786